

Aus dem Department für Pathobiologie  
Der veterinärmedizinischen Universität Wien  
Institut für Anatomie, Histologie und Embryologie  
(Vorstand: Univ. Prof. Dr. Monika Egerbacher)  
Fach: Anatomie

**Die Gelenke der Hinterextremität  
des Afrikanischen Elefanten (*Loxodonta africana*)**

**INAUGURAL-DISSERTATION**

Zur Erlangung der Würde eines  
**DOCTOR MEDIZINAE VETERINARIAE**  
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

vorgelegt von  
Diplom-Tierarzt, Mag. Gregor J. Stanek

Wien, im Dezember 2012

**Betreuer: A. Univ. Prof. Dr. Gerhard Forstenpointner**

**Gutachter: A. Univ. Prof. Dr. Gerald E. Weissengruber**

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Bau der Gelenke der Hinterextremität innerhalb der Säugetiere	4
2.1.1	Das Hüftgelenk, <i>Articulatio coxae</i>	4
2.1.1.1	Gelenkskapsel des Hüftgelenks	5
2.1.1.2	Bänder des Hüftgelenks	6
2.1.2	Das Kniegelenk, <i>Articulatio genus</i>	8
2.1.2.1	Gelenkskapsel des Kniegelenks	10
2.1.2.2	Bandapparat	12
2.1.2.2.1	Bänder der Menisken	12
2.1.2.2.2	Bänder des Kniescheibengelenks	12
2.1.2.2.3	Bänder der Kniekehlgelenks	14
2.1.3	Verbindungen der Fibula mit der Tibia	15
2.1.3.1	Bandapparat	16
2.1.4	Der Fuß, <i>Pes</i>	16
2.1.4.1	Das Hinterfußwurzel- oder Sprunggelenk, <i>Articulationes tarsi</i>	18
2.1.4.1.1	Der Bandapparat des Tarsus	21
2.1.4.2	Die Zehengelenke	24
3.	Material und Methode	27
3.1.	Auswahl der Elefanten	27
3.2	Makroskopisch - anatomische Präparation	27
3.3	Mikroskopisch – anatomische Präparation	28
3.2.1	Spezialfärbungen	28
4.	Ergebnisse	29
4.1	Das Hüftgelenk	29
4.1.1	Artikulierende Skelettelemente	29
4.1.2	Gelenkskapsel und bandartige Strukturen	30
4.1.3	Umgebende Muskulatur	30

4.2	Das Kniegelenk	33
4.2.1	Morphologie	35
4.3	Das Tibiofibulargelenk	40
4.4	Die Gelenke der Fußwurzel (Articulationes tarsi)	42
4.4.1	Gelenkskapseln und Bandapparat des Tarsus	47
4.4.2	Mikroanatomie der Gelenksknorpel von juvenilen Tarsalknochen	51
4.5	Verbindungen der Metatarsalknochen untereinander	56
4.6	Die Gelenke der Zehen	58
4.6.1	Die Gelenke der proximalen Reihe (Artt. metatarsophalangeae)	59
4.6.2	Die Gelenke der mittleren Reihe ( Art. interphalangea proximalis)	61
4.6.3	Die Gelenke der distalen Reihe (Artt. interphalangeae distales)	63
4.6.4	Mikroanatomie der knöchernen Struktur distal der Phalanx digitalis distalis III	65
5.	Diskussion	67
6.	Zusammenfassung	71
7.	Summary	72
8.	Literaturverzeichnis	73

## 1. Einleitung

Schon in der frühen Geschichte der Menschheit übten die Mammuts, Vertreter der Ordnung Proboscidea, Furcht und zugleich große Faszination auf unsere Vorfahren im Spätpleistozän aus. Die Anmut und Größe dieses einstig größten Landsäugetiers unserer Erde kann man noch heute an Hand paläolithischer Höhlenmalereien und eindruckvoller Knochenfunde, welche tausende von Jahre überstanden, nachvollziehen. Heute ist das Mammut zwar längst ausgestorben, nicht aber die Faszination der Menschheit für die letzten existierenden Repräsentanten dieser Ordnung. Es ist die *Genus Elephas*, welche von der asiatischen Spezies *Elephas maximus* und der afrikanischen Spezies *Loxodonta* vertreten wird.

Als zur Zeit größtes am Land lebendes Säugetier, ist der Afrikanische Elefant, *Loxodonta africana* (Blumenbach 1797) mit einer Schulterhöhe von vier Metern, einem durchschnittlichen Körpergewicht von 5000 bis 7500 kg und einer Lebenserwartung von bis zu 70 Jahren, auch das schwerste und langlebigste Landsäugetier der Gegenwart (SPINAGE, 1994).

Die Gelenke der Extremitäten des Afrikanischen Elefanten weisen in ihrem Aussehen und ihrem Bau zum Teil große Unterschiede zu den Knochenverbindungen der meisten anderen quadrupeden Säugetieren auf. Dies spiegelt sich z.B. auch im Bau und der Winkelung des Kniegelenks wieder (SERENO, 2000; WEISSENGRUBER et al., 2006). Auf Grund der Tatsache, dass sich der Elefant durch sein enormes Gewicht, sein Bewegungsverhalten und die hohe Lebenserwartung von den übrigen Landwirbeltieren weitgehend unterscheidet, kann man auch von der Vermutung ausgehen, dass die Gelenke des Bewegungsapparates des Elefanten diesen extremen Anforderungen in Form und Bau Rechnung tragen.

Das Ziel dieser Arbeit war es, den anatomischen Aufbau und die Verhältnisse der Gelenke der Hinterextremität (Hüft-, Knie-, Fuß-, Mittelfuß- und Zehengelenke) des Elefanten zu erfassen, die erhaltenen Daten sowohl bildlich als auch schriftlich zu sichern, auszuwerten und mit der Gelenkmorphologie quadrupeder Landsäugetiere zu vergleichen. Zu diesem Zwecke wurden

vor allem Pferd und Rind, aber auch der Mensch herangezogen, um einerseits Vergleiche mit ebenfalls schweren Landsäugetieren, andererseits jedoch mit dem sich ebenfalls plantigrad fortbewegenden Menschen anzustellen.

## 2. Literaturübersicht

Zum anatomischen Aufbau des Bewegungsapparates der Elephantidae gibt es nur sehr wenig zugängliche und meist viele Jahrzehnte alte Literatur. Die Gründe für dieses Wissensdefizit liegen vermutlich in der schwierigen Beschaffung des zu untersuchenden Materials, der räumlich aufwendigen Konservierung und den umständlichen präparatorischen Arbeiten welche ein solches Unterfangen mit sich bringt.

Frühe Darstellungen der Anatomie des Bewegungsapparates von Elefantenartigen beschränken sich weitgehend auf osteologische Themen (z. B. REICHENBACH, 1848). Osteologische Untersuchungen führten auch EALES (1929) und MARIAPPA (1955) im Zuge ihrer Gesamtdarstellungen der Anatomie von Föten des Afrikanischen und Indischen Elefanten durch. Neuere Arbeiten zur Osteologie des afrikanischen Elefanten wurden von SMUTS und BEZUIDENHOUT (1993, 1994), veröffentlicht. Den muskulösen Aufbau beschrieben teilweise HOLM NIELSEN (1965), MARIAPPA (1986), MIALL u. GREENWOOD (1878) und SHINO u. MORI (1956) für die indische Spezies *Elephas maximus*, sowie EALES (1928) und WEISSENGRUBER u. FORSTENPOINTNER (2004) für die afrikanische Spezies *Loxodonta africana*. Artikel zur Lokomotion und Gliedmaßenstellung der Elephantidae stehen von HUTCHINSON et al. (2005) und SCHWERDA (2003) zur Verfügung.

Die Erkenntnisse welche durch die Arbeiten von WEISSENGRUBER et al. (2004; 2005; 2006) im Bereich der Hart- und Weichgewebe der Hintergliedmaße erbracht wurden, verbesserten das Verständnis über die Bildung und Verhältnisse des Kniegelenks (Articulatio genus) des Elefanten substanziell. Unter anderem wurde festgestellt, dass das durch den ungewöhnlich längeren Femur außerhalb des Rumpfwurzelbereichs gelegene Kniegelenk (WEBER u. ABEL, 1928) einen Winkel von annähernd 180° zwischen den Knochen des Ober- und Unterschenkel einschließt (WEISSENGRUBER et. al., 2006).

Für das Hüftgelenk sowie die Gelenke der Fußwurzel, des Mittelfußes und der Zehen hat MARIAPPA (1986) eine Arbeit über den Indischen Elefanten verfasst, jedoch nicht in Bezugnahme auf die afrikanische Spezies. Vergleichende osteologische Untersuchungen der Fußwurzelknochen und des Prähallux des indischen Elefanten mit entsprechenden Strukturen

bei Tyrannosaurus dienten HUTCHINSON et al. (2008) als Datensätze für biomechanische Studien. MILLER et al. (2007) quantifizierten in einer Studie die Veränderungen der anatomischen Verhältnisse des Fußes des afrikanischen und indischen Elefanten in Abhängigkeit von der zunehmenden Körpermasse. SMUTS und BEZUIDENHUIT (1994) beschrieben in ihrem Artikel lediglich die knöchernen Anteile der Gelenke der Hinterextremität sowie deren Artikulationsflächen.

Entgegen anders lautender Befunde von MARIAPPA (1986) sowie SHINO und MORI am Indischen Elefanten, behauptet CRELIN (1988), ein sehr stark ausgebildetes Femurkopfband bei einem 14-jährigen Indischen Elefanten gefunden zu haben.

Über den anatomischen Bau des Kreuzdarmbeingelenks konnte weder zur indischen, noch zur afrikanischen Spezies Literatur gefunden werden.

Die im Folgenden präsentierte Literaturübersicht zur Arthrologie der Hinterextremität von Säugetieren beschränkt sich weitgehend auf die in der veterinäranatomischen Lehr- und Handbuchliteratur dargestellten allgemeinen morphologischen Grundlagen (NAUCK, 1938; NICKEL et al. 2001; LIEBICH et al., 2005). Aufgrund offensichtlicher Ähnlichkeiten in der Gliedmaßenstellung werden auch die Grundlagen der Bein- und Fußgelenkmorphologie des Menschen vorgestellt (TILLMANN, 2003).

## **2.1 Bau der Gelenke der Hinterextremität innerhalb der Säugetiere**

### **2.1.1 Das Hüftgelenk, *Articulatio coxae***

Im Hüftgelenk (*Articulatio coxae*) finden die der Fortbewegung dienenden Bewegungen in Form von Schwung- und Standphasen zwischen Stamm und Hinterextremität statt. In diesem, von Anteilen des Os ilium, Os ischii, Os Pubis und dem Os acetabuli (nur bei Fleischfresser und Mensch) gebildeten Gelenk, treten die Hüftpfanne (*Acetabulum*) und der Femurkopf (*Caput ossis femoris*) miteinander in gelenkigen Kontakt. Die Gelenkform entspricht einem

Kugelgelenk (*Articulatio sphaeroidea*) wobei meist von einem Nussgelenk (*Enarthrosis*) gesprochen wird, da die Gelenkspfanne mit ihrer faserknorpeligen Randzone den Gelenkskopf über den „Äquator“ hinaus umgreifen soll (NICKEL, 2001). Die Richtigkeit dieser mechanischen Darstellung wird jedoch angezweifelt (TILLMANN, 2003). Eine Ausnahme von der kugelförmigen Ausbildung des *Caput ossis femoris* findet sich bei den Huftieren, weil durch die stark eingeschränkte Seitwärts- und Drehbewegung der Gelenkskopf des Femur walzenförmig ist, was aus der vorzugsweisen Streck- und Beugebewegung des Gelenks bedingt ist (NICKEL, 1984). Beim Afrikanischen Elefanten bildet der Femurkopf eine fast perfekte Halbkugel. Die *Fovea capitis*, als Anheftungsstelle des Femurkopfbandes, bildet caudomedial eine Vertiefung in Dreiecksform wobei die distale Dreieckskante entlang der Epiphysenlinie verläuft (SMUTS, BEZUIDENHOUT, 1994). Die Gelenkspfanne passt sich dabei der Form und Stellung des Gelenkskopfes des *Femur* und dessen Bändern an. Die Gelenksfläche des *Acetabulum* bildet die meist C-förmige *Facies lunata* an welcher man einen äußeren knöchernen Rand, den *Limbus acetabuli*, beschreiben kann. Nach innen hin begrenzt der Rand der *Facies lunata* die rauhe *Fossa acetabuli* als Bandgrube, welche in ihrer Form tierartlich unterschiedlich ausgebildet ist. Um den Durchtritt des extraacetabulären Anteils des *Lig. Capitis ossis femoris* durch den überhöhten, knorpeligen Pfannenrand (*Labrum acetabulare*) zu ermöglichen, ist dieser durch die *Incisura acetabuli* unterbrochen. Beim Rind weist der Pfannenrand einen zweiten, weiter kranio-ventral gelegenen Einschnitt auf. Form und Weite *Incisura acetabuli* gestaltet sich bei den einzelnen Vertretern der Säugetiere weitgehend unterschiedlich. NAUCK (1938) gibt beim Elefanten und Nashorn lediglich eine angedeutete Inzisur an, während beim Flusspferd *Fovea capitis* des *Caput ossis femoris* sowie *Fossa* und *Incisura acetabuli* zur Gänze fehlen. SMUTS und BEZUIDENHOUT (1994) beschreiben hingegen eine gut ausgebildete, dem Cranialrand des *Foramen obturatum* gegenüberliegende *Incisura* und eine unregelmäßig geformte *Fossa acetabuli*, die mehrfach in ventromedialer Richtung durch eine flache *Fossa synovialis* erweitert wurde.

### **2.1.1.1 Gelenkscapsel des Hüftgelenks**

Die weite, jedoch dicke und feste Gelenkscapsel, heftet sich distal des Gelenksflächenrandes des *Caput ossis femoris* und am Rand der Gelenkspfanne an. Die *Membrana fibrosa* entspringt an der knöchernen Basis des *Labrum acetabulare* und im Bereich der *Incisura acetabuli* am

Lig. transversum acetabuli. Am Femur inseriert die Membrana fibrosa kranial an der Linea intertrochanterica. Auf der Kaudalseite ist die Kapsel an der Grenze zwischen mittlerem und lateralem Drittel des Schenkelhalses befestigt, so dass die Crista intertrochanterica sowie die beiden Trochanteren und die Fossa trochanterica extrakapsulär liegen (TILLMANN et al., 2003).

Die Membrana synovialis der Gelenkkapsel entspringt größtenteils an der Basis des Labrum acetabulare, so dass der Rand der Gelenkklippe frei in die Gelenkhöhle hineinragt. Nur im Bereich des Lig. transversum acetabuli kommt die Synovialmembran meist von der Kante der Gelenkklippe. Die Membrana synovialis verläuft am Rand des Acetabulum mit der fibrösen Kapsel nach kaudal und ist mit dieser durch wenig straffes subintimales Bindegewebe verbunden. Dort wo der fibröse Teil der Gelenkkapsel am Collum des Femurs befestigt ist, schlägt die Membrana synovialis im Inneren der Gelenkhöhle auf den Schenkelhals um und zieht auf dessen Oberfläche nach kranial bis zur Knorpelknochengrenze des Caput ossis femoris. Dieser ist mit der Membrana synovialis durch lockeres, gefäßreiches Bindegewebe verbunden (TILLMANN, 2003). Das Lig. capitis ossis femoris wird von der Synovialis umhüllt (NICKEL, 2001). Tierartlich unterschiedlich kommt es regelmäßig zur Bildung von Synovialmembranfalten („Frenula capsulae“, Autor?????).

### **2.1.1.2 Bänder des Hüftgelenks**

Das *Femurkopfband*, *Lig. capitis ossis femoris*, entspringt in der Fossa acetabuli und zieht, von der Synovialis der Gelenkkapsel umhüllt, zur Fovea capitis des Os femoris (NICKEL et al., 2001). NAUCK, (1938) gibt für Elefant, Nashorn und Flusspferd ein Fehlen des Lig. capitis ossis femoris an, auch MARIAPPA (1955) erwähnt es nicht beim Indischen Elefanten. CRELIN (1988) beschreibt beim Indischen Elefanten ein kräftiges, auf Grund seiner Lage aber leicht zu übersehendes Femurkopfband welches nicht am kurzen Femurkopfhals ansetzt, sondern direkt, von einer synovialen Membran überzogen, zum Acetabulum zieht um dort schließlich an der knöchernen Oberfläche der Fossa acetabuli zu enden.

Das *Verstärkungsband*, *Lig. accessorium ossis femoris*, ist nur beim Pferd vorhanden und stellt eine Abspaltung von der am Lig. pubicum craniale endenden Sehne des geraden Bauchmuskels nach lateral dar, die durch die Incisura acetabuli zieht und in enger Verbindung

mit dem Lig. capitis ossis femoris in der Fovea capitis des Os femoris endet (NICKEL et al., 2001).

Das *Ergänzungsband*, *Lig. transversum acetabuli*, überspannt die Incisura acetabuli und fixiert damit das Femurkopfband bzw. das Verstärkungsband in seiner Lage (NICKEL et al., 2001).

Als Verstärkungen für die weite Gelenkkapsel werden beim Menschen das *Lig. iliofemorale*, *Lig. pubofemorale* sowie ein *Lig. ischiofemorale* beschrieben (TILLMANN, 2003).

Das Lig. iliofemorale (Bertinisches Band), als Weiterentwicklung der bei den Reptilien die Gelenkkapsel verstärkenden Ligg. accessoria dorsalia, ist dort gelegen, wo bei der Streckbewegung die größte Kapselinanspruchnahme erfolgt. Unter den Säugern erreicht dieses die kräftigste Ausbildung beim Menschen und befindet sich beim aufrechten Stand (in sog. „bequemer Haltung“) in dauernder Anspannung. Damit wird die Beugemuskulatur des Gelenks in dieser Körperhaltung entlastet (NAUCK, 1938). Im Lig. iliofemorale lassen sich zwei besonders kräftige Bandzüge abgrenzen, die in Form eines umgekehrten V vom unteren Darmbeinstachel nach lateral (Pars lateralis) und nach medial (Pars medialis) ziehen. Der mediale Teil zieht nahezu vertikal nach distal zu einer knöchernen Vorwölbung am Ende der Linea intertrochanterica. Die Pars lateralis ist kräftiger als die Pars medialis, sie verläuft mehr transversal und inseriert an einem Höcker am kranialen Ende der Linea intertrochanterica (TILLMANN, 2003). MARIAPPA (1955) beschreibt beim Indischen Elefanten nur ein starkes „Lig. capsulare“, das sich cranial („in front“), also in der Position des Lig. iliofemorale, um 1 cm vom Gelenksrand absetzt. EALES (1928) erwähnt den M. capsularis, der vom Os ilium in distomedialer Richtung die Cranialfläche der Gelenkkapsel überzieht und ganz in starke Bandmassen eingebettet ist.

Das Lig. pubofemorale entspringt mit mehreren Zügen vom oberen Schambeinast, der Crista obturatoria und von der Membrana obturatoria. Ein Teil des Bandes strahlt als Lig. pubocapsulare über das Lig. iliofemorale in die Kapsel ein und bildet mit dem Lig. iliofemorale die Zona orbicularis. Distale Züge des Bandes inserieren medial vom Lig. iliofemorale am Ende der Linea intertrochanterica (TILLMANN, 2003).

Das Lig. ischiofemorale entspringt breitflächig am hinteren kaudalen Pfannenrand und läuft in einer Schraubentour nach laterookraniel, wo seine Fasern zum Teil in die Pars lateralis des Lig. iliofemorale und zum Teil in den Knochen der Fossa trochanterica einstrahlen (TILLMANN, 2003).

### **2.1.2 Das Kniegelenk, *Articulatio genus***

Das Kniegelenk, *Art. genus* ist eine *Articulatio composita* welche sich aus dem Kniekehlgelenk, *Art. femorotibialis*, und dem Kniescheibengelenk, *Art. femoropatellaris* zusammensetzt. Während das Kniescheibengelenk ein sog. Schlittengelenk darstellt, wird das Kniekehlgelenk mit seinen Menisken in der veterinäranatomischen Lehrbuchliteratur als Spiralgelenk bezeichnet. Bei der Beugung und Streckung dieses Gelenks soll die Tibia zusammen mit den durch Bänder mit ihr verbundenen Menisken über die Femurkondylen gleiten, deren gemeinsame Drehachse exzentrisch liegen soll. Dieser Annahme folgend überbrücken die Seitenbänder in der mittleren Stellung des Gelenks den kleinen Radius der Spirale, während sie beim Übergang in die Beuge- oder Streckstellung des Gelenks in deren größeren Radius hinüberwechseln. Daraus soll sich vor allem bei Belastung, also in der Beugstellung, eine Bremswirkung auf das Gelenk ergeben. Dieses mechanische Modell wird aber mit Hinweis auf die variable Position der Gelenksachse (*instant center of rotation*) stark angezweifelt. Neben dieser vorwiegenden Beuge- und Streckbewegung, die das Kniekehlgelenk als Wechselgelenk kennzeichnet, erfolgen aber auch tierartlich unterschiedlich ausgeprägte Drehbewegungen (NICKEL et al., 2001). Weitere synoviale Gelenke im Kniebereich stellen die *Art. tibiofibularis proximalis* (SCHALLER, 1992 und DYCE et al., 1992, TILLMANN, 2003 und NICKEL, 2001) sowie beim Menschen und den Fleischfressern die Gelenke von Femur und den paarigen Sesambeinen des *M. gastrocnemius* da (NICKEL, 2001).

Im Gegensatz zu der bei den meisten Quadrupeden halbgebeugten Kniegelenksstellung (SONNENSCHNEIN, 1951) weist das Kniegelenk der Elefanten ähnlich wie das des Menschen eine fast ganz durchgestreckte (annähernd 180°) Normalstellung auf. SONNENSCHNEIN (1951) führt diese gestreckte Gelenksposition auf die Plantigradie der betroffenen Arten zurück, da das Auftreten bei rechtwinkelig flektiertem Tarsus eine Streckung des Kniegelenkes bewirke.

Die an der Gelenkbildung beteiligten Knochenenden bilden im proximalen Anteil des bikondylären Kniekehlgelenks die beiden annähernd walzenförmigen Femurkondylen und im distalen Anteil die von der sagittalen Eminentia intercondylaris unterteilten, bei den meisten Quadrupeden, annähernd ebenen Gelenksflächen der Tibiakondylen. Für den afrikanischen Elefanten beschreiben SMUTS und BEZUIDENHOUT (1994) unterschiedlich stark ausgebildete Femurkondylen, wobei der mediale Gelenkkörper doppelt so groß wie der laterale erscheint und im Gegensatz zu dessen sagittaler Ausrichtung eine nach kaudolateral abweichende Längsachse aufweist. WEISSENGRUBER et al. (2006) beschreiben den lateralen Kondyl als schlanker und weiter nach distal ragend. Die tibialen Kondylen tragen deutlich konkave Gelenkflächen, sodass ein hoher Grad an Kongruenz zwischen den femoralen und tibialen Gelenkkomponenten entsteht (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1994; WEISSENGRUBER et al., 2006). Die Tubercula intercondylaria sind in einer sagittalen Ebene angeordnet, sodass sich die Eminentia intercondylaris als sagittale Leiste mit einer kranialen (Tub. intercondylare medialis) und einer kaudalen Erhöhung (Tub. intercondylare lateralis) präsentiert. Zwischen den beiden Erhöhung findet sich eine Area intercondylaris centralis, hinter dem kaudalen Vorsprung ist eine Area intercondylaris caudalis, kranial des vorderen Höckers sind zwei Areae intercondylares craniales angelegt (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1994). Beim indischen Elefanten werden ähnliche Verhältnisse beschrieben, MARIAPPA (1955) spricht aber nur von einem „tibial spine“ zwischen zwei „glenoid cavities“ für die femoralen Kondylen.

Um die Inkongruenz zwischen den Femurkondylen und der Facies articularis proximalis tibiae auszugleichen, besitzt das Kniekehlgelenk jeweils einen Meniscus lateralis und einen Meniscus medialis. Die Menisken sind bei allen Haussäugetieren sowie bei den meisten Quadrupeden und auch beim Menschen mandarinenscheibenförmig ausgebildet, mit scharfem, konkavem Innenrand und einem dicken, konvexen äußeren Umriss, der mit der Gelenkkapsel verwachsen ist (ELLENBERGER u. BAUM, 1932; NICKEL et al., 2001; ZIMMERMANN, 1933). Um die Inkongruenz des Gelenks auszugleichen sind bei all diesen Arten die distalen Flächen der Menisken plan und die proximalen Flächen derart ausgehöhlt, dass sie sich den Kondylen des Femur anschmiegen (NICKEL et al., 2001; PUTZ, 1994; TILLMANN, 2003). Beim afrikanischen Elefanten beschreiben WEISSENGRUBER et al. (2006) stark reduzierte Menisken, wobei besonders die mediale Struktur zu einem beim erwachsenen Tier weniger als 1 cm breiten und am peripheren Rand nur 5 mm dicken, im

Querschnitt dreieckigen Faserknorpelband zurück gebildet ist. Nach MARIAPPA (1955) fehlen die Menisken beim indischen Elefanten gänzlich.

Das Kniescheibengelenk setzt sich aus der Trochlea ossis femoris und der Kniescheibe (Patella), zusammen, welche synchron mit jeder Bewegung des Kniekehlgelenks in der Trochlea des Femurs gleitet (NICKEL et al., 2001). Die Patella ist ein in die Endsehne des M. quadriceps eingelagertes Sesambein mit tierartlich unterschiedlicher Form und Größe. Die dem Femur zugewandte Seite der Kniescheibe bildet die Gelenksfläche, Facies articularis, die proximale Basis dient als Muskelansatzfläche, distal wird die Spitze (Apex) beschrieben. Speziell bei Pferd und Rind findet man medial der Basis den Ansatzknorpel, Fibrocartilago parapatellaris, wobei von NICKEL et al. (2001) beim Fleischfresser an der Basis der Patella mehrere faserknorpelige Fortsätze beschrieben werden (in der Nomina Anatomica Veterinaria (NAV, 1994) nicht angeführt).

Beim erwachsenen Afrikanischen Elefanten erscheint die Patella rundlich und nach kranial stark konvex, während sie bei jugendlichen Tieren deutlich schlanker ausgebildet ist. Die durch einen stumpfen Kamm getrennten medialen und lateralen Gelenkflächen sind annähernd gleich groß, wobei der mediale Gelenkkörperperrand konvex, der laterale gerade angelegt ist (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1994). Beim foetalen Indischen Elefanten ist die Patella schlank geformt, versehen mit einer großen medialen und einer kleineren, halbmondförmigen Gelenkfläche (MARIAPPA, 1955).

#### **2.1.2.1 Gelenkskapsel des Kniegelenks**

Die bei den meisten Quadrupeden weite Gelenkskapsel der Art femorotibialis heftet sich mit ihrer Membrana fibrosa an den Gelenkrändern der beteiligten Knochen, zwischen Condylus tibiae und Condylus ossis femoris, und an den konvexen Außenrändern der Menisken an (NICKEL et al. 2001).

Die Membrana synovialis grenzt je eine Gelenkhöhle im Bereich des lateralen und des medialen Kondylenpaares ab, wobei diese beiden Cava articularia beim Pferd im Normalfall nicht, beim Wiederkäuer meistens und beim Fleischfresser stets in offener Verbindung stehen (NICKEL et al. 2001). Ebenfalls unterscheidet man einen meniskotibialen und einen meniskofemorale Teil der Gelenkhöhle, die am zentralen, scharfen Meniskusrand

miteinander in Verbindung stehen. Im vorderen Bereich des Kniegelenks ist die Kniescheibe in die Kapsel eingelassen. (TILLMANN, 2003).

Der proximale Anteil der Gelenkkapsel buchtet sich in den Sulcus extensorius der Tibia nach distal aus und umgreift hier die Ursprungssehne des langen Zehenstreckers. Dieser gebildete Rezessus kann auch als Schleimbeutel der Ursprungssehne des M. extensor longus aufgefasst werden. Ein zweiter Rezessus der lateralen Gelenkkapsel umgreift die Ursprungssehne des M. popliteus. Die mediale Gelenkhöhle, beim Pfd. seltener auch die laterale, kommunizieren dorsal mit dem Cavum articularis der Art. femoropatellaris. PUTZ (1994) beschreibt beim Menschen eine zusammenhängende Gelenkhöhle der Art. femorotibialis und der Art. femoropatellaris. Beim Fleischfresser umschließt die Gelenkkapsel auch die von den Ossa sesamoidea m. gastrocnemii gebildeten Gelenke (NICKEL et al., 2001).

Für den afrikanischen Elefanten wird eine straffe, eng anliegende Gelenkkapsel des Kniekehlgelenkes beschrieben, die einen synovialen Recessus m. poplitei erkennen lässt (WEISSENGRUBER et al., 2006). MARIAPPA (1955) erwähnt für den Indischen Elefanten eine kaudale, aus elastischen Fasern gebildete Kapselverstärkung des Kniekehlgelenkes, die als starker, dreieckiger Zug von einer Ursprungszone proximal der Femurkondylen in die Kaudalfläche der Kapsel einstrahlt.

Die Gelenkkapsel der Art. femoropatellaris wird bei den Haussäugetieren als die geräumigste des Körpers beschrieben (SISSON, 1975). Sie buchtet sich in ihrem proximalen Anteil unter den M. quadriceps femoris bzw. blindsackförmig nach beiden Seiten aus. Tibiawärts kommuniziert sie mit der Höhle der Art. femorotibialis (NICKEL et al., 2001).

Beim afrikanischen Elefanten bildet die Gelenkhöhle des Kniescheibengelenkes proximal der Patella den einzigen weitlumigen Recessus der gesamten Art. genus aus. Distokaudal der Patella findet sich ein umfangreiches Corpus adiposum infrapatellare und ähnlich wie beim Menschen sind eine Plica synovialis infrapatellaris sowie Plicae alares ausgebildet (WEISSENGRUBER et al., 2006). Beim Indischen Elefanten wird die Gelenkkapsel des Femoropatellargelenkes ähnlich beschrieben, zusätzlich wird noch eine entlang der Basis patellae verlaufende, mit Zotten besetzte Synovialfalte erwähnt (MARIAPPA, 1955).

## **2.1.2.2 Bandapparat**

### **2.1.2.2.1 Bänder der Menisken**

Der Fixierung der beiden Kniegelenksmenisken dienen je ein kraniales und kaudales Band zur Befestigung an der Tibia, wobei der laterale Meniskus zudem eine zusätzliche Verbindung zum Os femoris aufweist. Beim Hund und gelegentlich beim Rind können beide Menisken kranial verbunden sein (NICKEL et al., 2001).

Die kranialen Tibialbänder der Menisken (Lig. tibiae craniale menisci lateralis bzw. medialis) verkehren zwischen dem kranialen Winkel des jeweiligen Meniskus und der lateralen bzw. medialen Area intercondylaris cranialis tibiae.

Die kaudalen Haltebänder (Lig. tibiale caudale menisci lateralis bzw. medialis) entspringen am kaudalen Winkel des jeweiligen Meniskus. Den Ansatz findet das laterale Meniskusband in der Inc. poplitea tibiae und das mediale Band in der Area intercondylaris caudalis tibiae.

Das Lig. meniscofemorale zieht vom kaudalen Rand des lateralen Meniskus zur interkondylären Fläche des medialen Femurknorren. Zwischen den kranialen Winkeln der beiden Menisken kann beim Hund und Rind ein Lig. transversum genus als Verbindung existieren (NICKEL, 2001), welches ZIMMERMANN (1933) auch im Kniegelenk von Schweinen beschrieben hat.

Beim afrikanischen Elefanten werden kraniale Haltebänder der Menisken an der Tibia nahe der Area intercondylaris cranialis beschrieben. Kaudal ist der dünne mediale Meniskus nur an der Gelenkkapsel befestigt, der laterale setzt sich in das an die Innenfläche des medialen Femurkondyls ziehende Lig. meniscofemorale fort (WEISSENGRUBER et al., 2006).

### **2.1.2.2.2 Bänder des Kniescheibengelenks**

Bei den Bändern der Art. femoropatellaris kann man zwischen dem Lig. patellae, der Endsehne des M. quadriceps femoris in welche die Patella als Sesambein eingelagert ist, und

den Retinacula patellae unterscheiden. Letztere dienen als Verstärkungen der Faszie welche die Kniescheibe am Oberschenkel fixiert (NICKEL, 2001).

Die Retinacula patellae verkehren tierartlich sehr unterschiedlich zwischen der Sehne des M. quadriceps femoris, der Basis und den Seitenflächen der Patella einerseits und den Femur- und Tibiakondylen andererseits. Alle Haussäugetiere besitzen als Teil des Retinaculum patellae laterale bzw. mediale ein Lig. femoropatellare laterale und das Lig. femoropatellare mediale, welche die Basis der Patella mit den jeweiligen Bandhöckern des Femur verbinden. Beim Rind und Pferd ist das laterale Band stärker ausgebildet als das mediale, welches an der sogenannten Fibrocartilago parapatellaris medialis ansetzt (NICKEL et al., 2001). Anders als bei den Haussäugetieren zieht beim Menschen die gemeinsame Endsehne der Mm. vastus lateralis, medialis und intermedius als sog. Retinaculum patellae longitudinale mediale und laterale nach distal zum jeweiligen Tibiakondylus (TILLMANN, 2003).

Als einzige Verbindung zwischen der Kniescheibe und dem Proximalende der Tibia dient bei Mensch, Fleischfresser, Schwein und kl. Wiederkäuer das Lig. patellae ( NICKEL et al., 2001; TILLMANN, 2003). Beim Rind und Pferd existieren neben dem eigentlichen Lig. Patellae, das hier als Lig. patellae intermedium bezeichnet wird noch jederseits ein lig. patellae laterale und mediale. Diese sich aus den Retinacula patellae differenzierenden Bänder unterstützen die Funktion des eigentlichen Lig. patellae und verkehren zwischen den seitlichen Patellarändern und der proximalen Tibia (DYCE et al., 1992; NICKEL et al., 2001). TILLMANN (2003) beschreibt für den Menschen noch sog. Retinacula transversalia welche lateral regelmäßig und medial in einem Drittel der Fälle vorkommen. Das mediale Retinaculum entspringt am seitlichen Rand der Patella und strahlt in horizontalem Verlauf in den Tractus iliotibialis ein. Das laterale zieht vom medialen Rand der Patella zum Epicondylus medialis ossis femoris. Bei den Hsgt. Entsprechen diese Strukturen den Ligg. Femoroparellaria, welche beim Fleischfresser von den Ossa sesamoidea muscoli gastrocnemii an die Seitenränder der Patella ziehen und bei den anderen Hsgt. die Bandhöcker des Femur mit der Basis patellae verbinden (NICKEL,2001). Beim Afrikanischen Elefanten wird ein Lig. patellae beschrieben, das als Fortsetzung der Sehnen der Mm. vastus medialis, intermedius und lateralis zu verstehen ist, während die Sehne des M. rectus femoris, ohne Verbindung zur Patella aufzunehmen, direkt an der Tuberositas tibiae anheftet. Keine erkennbaren Retinacula sind angelegt (WEISSENGRUBER et al., 2006). Demgegenüber beschreibt MARIAPPA (1955) beim Indischen Elefanten sowohl ein undeutlich dreigeteiltes Lig. patellae, das sich aus einem vorderen geraden Band vom Apex patellae an die

Tuberositas tibiae und den als Retinacula bezeichneten Sehnen der Mm. vastus medialis und lateralis zusammensetzt. Darüber hinaus werden auch ein schwaches, dreieckig geformtes Lig. femoropatellare mediale und ein starkes, ebenfalls dreieckiges Lig. femoropatellare laterale genannt.

### **2.1.2.2.3 Bänder der Kniekehlgelenks**

Zu den Bandstrukturen des Kniekehlgelenks zählen die Seitenbänder, Ligg. collateralia, und die gekreuzten Bänder, Ligg. cruciata genus.

Die beiden Seitenbänder, Ligg. collateralia, sind als kräftige Faserbündel zwischen den Bandhöckern von Femur und der Tibia bzw. Fibula ausgespannt. Diese wirken hemmend auf die Rotationsbewegungen des Kniegelenks (NICKEL et al., 2001). Das Lig. collaterale laterale inseriert am Condylus lateralis tibiae, und tierartig unterschiedlich stark ausgeprägt auch am Caput fibulae. Es wird durch die Ursprungssehne des M. popliteus vom lateralen Meniskus getrennt. Das mediale Seitenband hingegen verbindet sich mit dem medialen Meniskus und setzt anschließend am Condylus medialis der Tibia an (NICKEL et al. 2001). Beim Afrikanischen Elefanten sind das stärkere mediale und das schwächere laterale Seitenband in die massive Fascia genu eingebettet. Das Lig. collaterale lateralis inseriert am Caput fibulae, das mediale Band am Condylus medialis tibiae (WEISSENGRUBER et al., 2006). MARIAPPA (1955) beschreibt beim Indischen Elefanten zwei stark angelegte Ligg. collateralia, wobei aber das laterale Seitenband gegenüber dem medialen kürzer und mit schrägem Verlauf angelegt ist.

Die gekreuzten Bänder, Ligg. cruciata genus, finden sich zentral im Gelenk zwischen den beiden Synovialhäuten (NICKEL, 2001). Die Hauptfunktion der Kreuzbänder besteht darin, Femur und Tibia im Kniegelenk in der Sagittalebene so zu stabilisieren, dass beide Knochen normalerweise nicht gegeneinander verschoben werden können. Das hintere Kreuzband gilt hierbei als Hauptstabilisator des Kniegelenks (TILLMANN, 2003).

Das Lig. cruciatum craniale entspringt an der intercondylären Fläche des lateralen Femurknorren und inseriert in der Area intercondylaris centralis tibiae. Das Lig. cruciatum caud. zieht von der intercondylären Fläche des medialen Femurknorren zur Area intercondylaris caudalis und zur Inc. poplitea der Tibia (NICKEL et al., 2001; TILLMANN, 2003).

TILLMANN (2003) beschreibt beim Menschen neben dem lateralen Schenkel der, als Lig. popliteum obliquum bezeichneten, von kaudo-medial einstrahlenden Ansatzsehne des M. semimembranosus, ein Lig. popliteum arcuatum. Diese dienen als Verstärkung der kaudalen Kniekehlgelenkscapsel.

WEISSENGRUBER et al. (2006) legen für die Kreuzbänder des Afrikanischen Elefanten eine ausführliche kinematische Funktionsanalyse vor. Aus morphologischer Sicht erscheint das vordere Kreuzband abgeflacht, mit elliptischem Querschnitt, und es verläuft in sagittaler Richtung vom Kaudalabschnitt der Medialfläche des lateralen Femurkondyls zu einer kraniolateral an der Eminentia intercondylaris angelegten Insertionsfläche. Das Lig. cruciatum caudale entspringt kaudal an der Lateralfäche des medialen Femurkondyls und zieht, verschmolzen mit der kaudalen Gelenkkapsel, in annähernd proximodistaler Richtung an die Area intercondylaris caudalis. Die kurze Beschreibung von MARIAPPA (1955) lässt keine Unterschiede in der Anlage der Kreuzbänder des Indischen gegenüber dem Afrikanischen Elefanten erkennen.

### **2.1.3 Verbindungen der Fibula mit der Tibia**

Auf Grund der tierartlich sehr unterschiedlich ausgeprägten Rückbildung der Fibula ist auch die Verbindung der beiden Unterschenkelknochen untereinander sehr divergierend. Man kann aber, von der beim Pferd durch die Fibulareduktion verursachten Ausnahme abgesehen, zwischen Wadenbein und Schienbein zwei Gelenke unterscheiden (NICKEL et al., 2001).

In der *Articulatio tibiofibularis proximalis* ist bei Fleischfresser, Schwein und Pferd proximal zwischen Tibia und Fibula ein straffes Gelenk ausgebildet. Beim Wiederkäuer hingegen verwächst das Caput fibulare mit dem Condylus lateralis der Tibia (NICKEL et al., 2001).

TILLMANN (2003) beschreibt das proximale Tibiofibulargelenk beim Menschen durch seine festen bandhaften Strukturen als Amphiarthrose, jedoch erlaubt es geringgradige Translationsbewegungen in vertikaler und transversaler Richtung sowie leichte Rotation.

Die *Articulatio tibiofibularis distalis* wird beim Fleischfresser, Schwein und Rind als straffes Gelenk der distalen Enden von Tibia und Fibula gebildet. Beim Pferd verschmilzt das während der Fetalentwicklung als eigener Knochen angelegte, distale Endstück der Fibula mit der distalen Epiphyse der Tibia und bildet den Malleolus lateralis (NICKEL et al., 2001).

Distal, ist das Schienbein und Wadenbein bandhaft als *Syndesmosis tibiofibularis* verbunden indem sich die konkave Inc. fibularis tibiae dem distalen Abschnitt der Fibuladiaphyse anlegt. In diesem Bereich sind beide Knochen von Periost bedeckt (TILLMANN, 2003).

Die Membrana interossea cruris besteht aus einer Platte straffen Bindegewebes zwischen Tibia und Fibula im Bereich der Epiphysen (NICKEL, 2001; TILLMANN, 2003), und trägt beim Menschen zur Stabilität der sogenannten Maleolengabel bei (TILLMANN, 2003).

#### **2.1.3.1 Bandapparat**

Das manchmal zweigeteilte, rechteckige Lig. capitis fibulae anterius und das Lig. capitis fibulae posterius, das vom Fibulakopf schräg nach proximal-medial zum lateralen Tibiacondylus verläuft, verstärkt beim Menschen die Gelenkscapsel an ihren Vorder- und Hinterflächen. Im Bereich des distalen Gelenks von Fibula und Tibia sind das Lig. tibiofibularis anterior und posterior als Syndesmosebänder zu differenzieren (TILLMANN, 2003).

#### **2.1.4 Der Fuß, Pes**

Das Skelett der Gliedmaßen Spitze der Hinterextremität (Autopodium) besteht aus den Fußwurzelknochen (Basipodium, Ossa tarsi), den Mittelfußknochen (Metapodium, Ossa metatarsalia), und dem Akropodium mit den Hinterzehenknochen (Ossa digitorum pedis). Topographisch steht der Fußsohlenfläche (Planta pedis), der Fußrücken (Dorsum pedis), gegenüber. (NICKEL et al., 2001; TILLMANN, 2003). Innerhalb dieser beiden Regionen

werden nochmals die Fersengegend, Regio calcanea, sowie die beiden Fußränder, *Margo lateralis pedis* und *Margo medialis pedis*, abgegrenzt (TILLMANN, 2003).

Das Autopodium lässt in seiner Entwicklung bei den meisten Wirbeltieren an Vorder- und Hinterextremität charakteristische Umbauvorgänge erkennen, die als Anpassung an die Bewegungsweisen in den jeweiligen Lebensräumen angesehen werden können. Der Mensch ist Sohlengänger (plantigrade Fortbewegung) und stellt über die Tastsinnensorgane in der Fußsohle den Kontakt zur Unterstützungsfläche her. Entsprechend seiner Funktion als Stützorgan sind am Fuß die Skelettelemente, die den Hauptteil der Druckkräfte aufnehmen, besonders massiv gebaut. Dies trifft vor allem für Talus und Calcaneus sowie für die Knochen des ersten Strahles zu (TILLMANN, 2003).

Das Fußskelett ist bei den Landwirbeltieren in Form einer Querwölbung konstruiert (NAUCK, 1938; TILLMANN, 2003). Die Entstehung dieser Querwölbung beschreibt NAUCK (1938) durch den vom M. peroneus longus ausgeübten Zug auf die keilförmig umgebauten proximalen Enden der Metatarsalia, der den Fuß zum „Einrollen“ veranlassen kann, zumal die seitlichen Metatarsalia der Unterlage fester aufrufen als die mittleren. Besonders wichtig ist die dabei weiter fortschreitende Ausbildung des Tuber calcanei zugleich mit der ganzen Verlagerung des Calcaneus unter den Talus. Damit wird ein Stützpunkt unten – seitlich am Tarsus – angebracht, der eine zusätzliche Eintrittspforte im Bereich der medialen Knöchelgegend entstehen lässt und gleichzeitig das Fußlängsgewölbe bildet, das distal die distalen Metatarsalknöpfechen und proximal den Calcaneus als Unterstützungspunkte hat (NAUCK, 1938). Als besonderes Merkmal tritt beim Menschen zusätzlich zur Querwölbung noch eine Längswölbung hinzu, die durch das Anheben der Fußwurzelknochen zustande kommt. Dies führt zu einer Verlagerung der Abstützungen auf das Fersenbein und die Köpfe der Mittelfußknochen (TILLMANN, 2003).

Durch die besondere biomechanische Belastung des plantigraden Elefantenfußes, beschreiben MILLER, BASU, FRITSCH, HILDEBRAND und HUTCHINSON, (2007) in Abhängigkeit zur Belastung eine Verringerung der Größe der Tarsalknochen mit zunehmender Masse, jedoch konträr dazu eine signifikante Verstärkung der ansetzenden Sehnenansätze. Durch die teilweise mineralisierte, und robuste Form und Lage wird auch dem Prähallus eine große Rolle in der Unterstützung der Fußstabilität im Stand und der Fortbewegung zugeschrieben.

Pferd und Rind sind typische Zehenspitzenläufer (unguligrade Fortbewegung) und haben nur im Bereich des distalen Endes der Phalanx distalis Kontakt mit ihrer Unterstützungsfläche. Im

Gegensatz zum menschlichen Fuß, wird das Meta- und Acropodium beim Rind auf zwei (3. und 4. Strahl) und beim Pferd auf nur einen Last tragenden Strahl (3. Strahl) reduziert. NICKEL (2001) beschreibt diese Rückbildungsvorgänge als Ausdruck des Verlustes der vielseitigen Bewegungsmöglichkeiten der Gliedmaße als Greiforgan zugunsten der einseitigen Beanspruchung ausschließlich als Stütz- und Lauforgan.

#### **2.1.4.1 Das Hinterfußwurzel- oder Sprunggelenk, Articulationes tarsi**

Das dem menschlichen Fußgelenk entsprechende Hinterfußwurzelgelenk der Haussäugetiere wird von Fibula und Tibia, der Hinterfußwurzel und den Knochen des Mittelfußes gebildet. Sie formen somit ein zusammengesetztes Gelenk mit insgesamt vier Gelenksspalten welche jeweils unabhängige Synovialhöhlen besitzen. Beim Wdk. stellen die beiden proximalen Gelenke, beim Pfd. nur das Tarsokruralgelenk Wechselgelenke dar, während die distalen Verbindungen und die Hinterfußwurzel-Zwischengelenke straffe Gelenke bilden (NICKEL, 2001).

Durch den Bau des Tarsalgelenks ergibt sich eine tierartlich unterschiedliche Bewegungsmöglichkeit, jedoch liegt die Hauptfunktion dieses komplizierten Gelenks in der Streckung und Beugung. Die Fähigkeit der Seitwärtsbewegung oder kombinierte Bewegungsabläufe sind, bei artspezifischen Unterschieden, weitgehend eingeschränkt.

Man beschreibt dabei das *Unterschenkel-Hinterfußwurzelgelenk*, das *obere Hinterfußwurzel-Mittelgelenk*, das *untere Hinterfußwurzel-Mittelgelenk* und die *Hinterfußwurzel-Mittelfußgelenke*, wobei die einzelnen Knochen innerhalb der jeweiligen Gelenkreihen zusätzliche *Hinterfußwurzel-Zwischengelenke* ausbilden. In der Folge werden die für die quadrupeden Haussäugetiere sowie für den Menschen charakteristischen Bildungen zusammenfassend beschrieben und den wenigen fassbaren Referenzbefunden für die Proboscidea gegenüber gestellt.,

Das ***Unterschenkel-Hinterfußwurzelgelenk*** (Articulatio tarsocruralis / Art. talocruralis), wird von der Trochlea tali und der Cochlea tibiae sowie der Gelenksfläche am distalen Ende der Fibula (beim Wdk. am Os malleolare) gebildet, wobei letztere außer beim Pferd, auch mit dem Calcaneus artikuliert. Die Trochlea tali trägt hohe Rollkämme und kennzeichnet hierdurch das Gelenk als Gibglimus. Aufgrund der Rollkammstellung liegt beim Pferd ein Schraubengelenk vor. Es beteiligt sich am ausgiebigsten an der Bewegung des Tarsalgelenks (NICKEL, 2001).

Die **Gelenkskapsel** bildet eine dementsprechend geräumige Gelenkhöhle, an welcher man beim Pfd. eine dorsale und zwei tastbare plantare Ausbuchtungen beschreiben kann.

Im ***oberen Mittelfußwurzel-Mittelgelenk*** (Articulatio talocalcaneocentralis et calcaneoquartalis), haben die Knochen der Proximalreihe, das Sprungbein und das Fersenbein Verbindung mit dem Os tarsi centrale und dem Os tarsale quartum. Die Form der hier bestehenden kongruenten Gelenksflächen ist bei unseren Hsgt. unterschiedlich. Bei Schw. und Wdk. formen Caput tali und das Distalende des Calcaneus eine Walze und bilden somit ein vollkommenes Walzengelenk. Bei den Flfr. trägt nur der Talus eine schwache Gelenkerhöhung, während der mit ihm beweglich verbundene Kalkaneus eine ebene Gelenksfläche besitzt. Hierdurch besteht beim Flfr. die Möglichkeit einer stärkeren Dreh- und Seitwärtsbewegung. Beim Pfd. handelt es sich, da die Gelenkflächen eben sind, um ein *straffes* Gelenk.

Die **Gelenkskapsel** ist entsprechend der artspezifischen unterschiedlichen Beweglichkeit in diesem Gelenk weit bzw. eng. Die Gelenkhöhle kommuniziert mit dem proximalen Cavum articulare.

Das ***untere Hinterfußwurzel-Mittelgelenk*** (Articulatio centrodistalis), umfasst nicht die ganze Breite des Gelenks, da lateral das Os tarsale quartum die Knochen der Proximalreihen mit den Metatarsalia verbindet. In diesem Gelenk haben die Tarsalknochen der distalen Reihe, mit Ausnahme des Os tarsale quartum, von distal Kontakt mit dem Os tarsi centrale.

Es ist ein *straffes* Gelenk, dessen **Gelenkskapsel** auch die seitlichen, zwischen dem Os tarsale quartum und dem Os tarsi centrale sowie dem Os tarsale tertium bestehenden Gelenke mit einschließt (NICKEL, 2001).

Die *Hinterfußwurzel-Mittelfußgelenke* (Articulationes tarsometatarseeae), setzen sich aus den ebenen Gelenkflächen der Tarsalknochen der distalen Reihe und der Metatarsalknochen zusammen und bilden jeweils straffe Gelenke.

Die **Gelenkkapseln** der einzelnen Gelenke umfassen eine enge Gelenkhöhle welche auch die proximalen Intermetatarsalgelenke mit einschließt (NICKEL, 2001).

Die *Hinterfußwurzel-Zwischengelenke* (Articulationes intertarseae), liegen zwischen den Knochen einer jeden Reihe. Sie stellen *straffe* Gelenke dar, die bei den verschiedenen Hsgt. unterschiedliche Bewegungsmöglichkeiten besitzen. Zu diesen Gelenken gehört auch das Gelenk zwischen Sprungbein und Fersenbein, die *Articulatio talocalcanea*.

Zur Bildung der Gelenkkörper des Tarsus liegen für die Proboscidea nur wenige verwertbare Referenzbefunde vor. SMUTS und BEZUIDENHOUT (1994) legen ausführliche Beschreibungen der Ossa tarsi vor, die auch die Ausbildung der Gelenkflächen einschließt, nehmen aber keinen Bezug auf die arthrologische Konstruktion des komplexen Tarsalgelenkes. Auch NEUVILLE () beschränkt sich in einer vergleichend morphologischen Studie zu den Basipodien der Proboscidea auf die osteologische Beschreibung. MARIAPPA (1955) erwähnt für den Indischen Elefanten drei funktionell differenzierbare Gelenke, eine als Ginglymus angelegte Art. tibiotarsalis, und die straffen Intertarsal- sowie Tarsometatarsalgelenke. Er beschreibt zusammenhängende Gelenkkapselschichten, die an der dorsalen Seite membranös angelegt sind, plantar und seitlich aber von dicken Faserknorpelpolstern bedeckt sind, in welche Gleitrinnen für die Sehnen eingetieft sind. Die Synovialmembran bildet vier „sacs“ aus, wobei nicht beurteilt werden kann, ob hier Gelenkhöhlen oder Recessusbildungen gemeint sind.

### 2.1.4.1.1 Der Bandapparat des Tarsus

NICKEL (2001) teilt die Bänder der Articulationes tarsi in 1. *Seitenbänder*, 2. *proximale* und *distale Fußwurzelbänder* und 3. *Fußwurzel-Mittelfußbänder* ein. Auf die Gelenksbänder des Menschen wird in weiterer Folge gesondert eingegangen.

#### - *Seitenbänder (Ligg. collateralia)*:

Man unterscheidet sowohl lange als auch kurze Seitenbänder, welche zu beiden Seiten des Tarsus liegen. Den kurzen Seitenbändern kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da sie hauptsächlich an den Seiten des Tarsokruralgelenks liegen, das den Hauptanteil an der Bewegung des Tarsalgelenkes hat (NICKEL, 2001).

Dazu zählen:

Lig. collaterale laterale longum

Lig. collaterale laterale breve

Lig. collaterale mediale longum

Lig. collaterale mediale breve

Das *Lig. collaterale laterale longum* entspringt am Malleolus fibularis bzw. lateralis und endet, indem es sich auch an den lateralen Tarsalknochen anheftet, am Proximalende der lateralen Metatarsalknochen.

Das *Lig. collaterale laterale breve* setzt sich tierartlich unterschiedlich aus verschiedenen Bandzügen zusammen. Ein Teil entspringt am Malleolus lateralis und endet als Pars calcaneofibularis bei den Flfr. zweischenklig, bei den Wdk. einfach am Calcaneus, während es sich beim Pferd mit seiner Pars tibiotalaris am Talus und an der Pars tibioalcanea am Calcaneus anheftet. Ein weiterer Teil, die Pars calcaneometatarsea, kommt bei Flfr. und Wdk. vor. Beim Flfr. entspringt er proximal am Fersenbein und strahlt in das lange Kollateralband ein. Beim Wdk. nimmt er distal am Calcaneus seinen Ursprung und inseriert dorsal vom langen Seitenband am Hauptmittelfußknochen (NICKEL, 2001).

Beim Indischen Elefanten wird ein dünnes, schräg verlaufendes Band vom lateralen Malleolus zum Calcaneus, das von den Sehnen der Mm. fibularis longus und brevis unterkreuzt wird, als Lig. laterale bezeichnet. Darüber hinaus wird ein dickes, schräges Lig.

calcaneofibulare beschrieben, das den Malleolus lateralis mit der Basis des Tuber calcanei verbindet (MARIAPPA, 1955).

Das *Lig. collaterale mediale longum* zieht vom Malleolus tibiae bzw. medialis unter Verbindung mit den medialen Tarsalknochen zum Proximalende der medialen Metatarsalknochen (NICKEL, 2001).

Das *Lig. collaterale mediale breve* spaltet sich nach dem Ursprung in die Pars tibiotalaris zum Talus und die Pars tibiocalcanea zum Ansatz am Fersenbein. Diese entlässt bei den Flfr. kranial einen dünnen Ast an das lange Kollateralband. Beim Rd. verbreitert es sich nach distal fächerförmig und heftet sich an den medialen Tarsalknochen an (Nickel, 2001).

Für den Indischen Elefanten beschreibt MARIAPPA (1955) ein dickes mediales Band vom medialen Malleolus an die Ossa tarsale und metatarsale I, das von der Sehne des *M. tibialis caudalis* unterkreuzt wird.

#### ***-Proximale und distale Fußwurzelbänder:***

Die proximalen und distalen Fußwurzelbänder überspannen eine oder mehrere Gelenksspalten, indem sie längs, schräg oder quer über diese verlaufen. Da sie teilweise sehr eng mit der Gelenkkapsel verbunden sind, kann man sie auch präparatorisch nur sehr schwierig gegeneinander abgrenzen.

Zu den proximalen Fußwurzelbändern zählt man das seitlich gelegene *Lig. talocalcaneum laterale* und das plantar gelegene *Lig. talocalcaneum plantare*, welche in ihrer Bedeutung eher unwesentlich sind und zwischen Sprung- und Fersenbein liegen.

Die distalen Fußwurzelbänder werden in *Lig. tarsi dorsalia*, *plantaria* und *interossea* eingeteilt. Beim Wdk. verlaufen zwei der drei dorsalen Tarsalbänder vom Talus bzw. Os tarsale secundum et tertium zum Os centrotarsale. Das *Lig. talocentrodismetatarsium* entspringt beim Wdk. und Pfd. an der medialen Fläche des Talus und endet, sich vor allem

beim Pfd. nach dorsal und distal fächerförmig ausbreitend, an den medial und fußachsenwärts gelegenen Skelettelementen des Tarsus und Metatarsus (NICKEL, 2001).

Beim Indischen Elefanten bildet ein einheitlich vom Lateralrand des Calcaneus entspringendes Band (Calcaneo-scaphoid) zwei nach medial verlaufende, divergierende Züge an den Talus sowie an das Os tarsi centrale. Weiters verbinden ein dünnes dorsales Band (Calcaneo-cuboid) den Calcaneus mit dem Os tarsale IV sowie ein schräg verlaufender schwacher Zug (Scapho-tarsal II) das Os tarsi centrale mit dem Os tarsale II (MARIAPPA, 1955).

Zu den funktionell bedeutendsten Bandstrukturen der plantaren Fußwurzelbändern zählt das *Lig. plantare longum*. Bei Pfd. und Rd. kommt es plantar vom Tuber calcanei und verbindet in distalem Verlauf die lateral gelegenen Knochen des Tarsus und Metatarsus miteinander. Beim Rd. trennt sich bereits proximal am Fersenbeinhöcker ein medialer Strang ab, so dass das *Lig. plantare longum* aus einem *medialen* und einem *lateralen Schenkel* besteht. Beim Pfd. entlässt es an der Plantarfläche der Fußwurzel noch Fasern zu den medial gelegenen Knochen des Tarsus und Metatarsus (NICKEL, 2001).

Beim Indischen Elefanten wird ein dickes Band, das den hinteren Rand des Tuber calcanei mit dem Os metatarsale V verbindet, als „plantar ligament“ bezeichnet (MARIAPPA, 1955).

Die *Ligg. tarsi interossea* verkehren, tierartlich sehr unterschiedlich ausgebildet, zwischen den einander zugewandten Flächen der Tarsalknochen sowohl innerhalb als auch zwischen benachbarten Gelenksreihen.

MARIAPPA (1955) beschreibt insgesamt 10 verschiedene Ligamenta interossea beim Indischen Elefanten, weist aber darauf hin, dass es durchaus auch noch mehr sein könnten.

#### **- Fußwurzel-Mittelfußbänder:**

Die *Ligg. tarsometatarsalia* bilden als dorsale, plantare sowie innere Bänder die Verbindungsstruktur der Tarsalknochen mit den Basen der *Ossa metatarsalia*. Auf diverse tierartliche Unterschiede kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden

#### **2.1.4.2 Die Zehengelenke**

Die Zehengelenke werden in jeweils ein Zehengrundgelenk (*Articulatio metacarpophalangea*), das Zehenmittelgelenk (*Articulatio interphalangea proximalis*) und das Zehenendgelenk (*Articulatio interphalangea distalis*) eingeteilt.

Unterschiede in der Anzahl der ausgebildeten Gelenke und somit auch der vorhandenen Zehenknochen kommen innerhalb der Säugetiere vor. Der tierartlich unterschiedliche Ausbildungsgrad der Zehengelenke entspricht der artspezifischen Anlage der Digitalstrahlen.

##### **- Zehengrundgelenk, *Articulatio metatarsophalangea***

Die artikulierenden Knochen sind die *Ossa metatarsalia* und die Grundphalangen der Zehen, welche bei den einzelnen Säugetieren in unterschiedlicher Anzahl ausgebildet sind. Die artikulierenden Flächen sind die Köpfe der Mittelfußknochen und die Basen der Grundphalangen. TILLMANN (2003) für den Menschen wie auch NICKEL (2001) für die Haussäugetiere beschreibt die Köpfe der *Ossa metatarsalia* als walzenförmige Gelenksflächen welche mit den Gelenkspfannen an den Basen der *Phalanx proximalis* artikulieren. Bei den Haussäugetieren beschreibt NICKEL (2001) weiters an den Basen der proximalen Phalangen eine Gelenksvertiefung, *Fovea articularis*, und an der Gelenksbildung beteiligte proximale Sesambeine. Beim Menschen erweitern sich die ovalen Gelenkspfannen an den Basen der Grundphalangen plantar durch faserknorpelige Platten, welche durch ihre zipfeligen Ausziehungen plantar mit den Metatarsalknochen in Kontakt treten. Jeweils zwei Sesambeine sind beim Menschen in die ansetzenden Beugesehen der großen Zehe eingelagert (TILLMANN, 2003). Die Metatarsophalangealgelenke stellen der Form nach Scharniergelenke dar (TILLMANN, 2003), die als Wechselgelenke funktionieren (NICKEL 2001).

##### **Gelenkskapsel**

Bei den Hsgt. besitzt die Gelenkskapsel dorsal und palmar proximal gerichtete Ausbuchtungen, die des Menschen ist weit.

## **Bänder des Zehengrundgelenks**

Als Gelenksbänder sind axiale und abaxiale Seitenbänder, Sesambeinbänder und bei Hsgt. mit mehreren Zehen Zwischenzehenbänder vorhanden. Die Sesambeinbänder unterteilen sich wiederum in mittlere und distale wobei die proximalen Sesambeinbänder vom ligamentösen Anteil des M. interosseus medius gebildet werden (NICKEL, 2001). Für den Menschen beschreibt TILLMANN (2003) seitlich kräftige Kollateralbänder und eine plantare Stabilisierung durch Ligg. plantaria. Das mediale Sesambein der großen Zehe ist in die Sehne des M. abductor hallucis und des Caput mediale m. flexoris hallucis brevis eingelagert. Zum lateralen Sesambein ziehen das Caput laterale des M. flexor hallucis brevis und der M. Adductor hallucis.

## **Zehenzwischengelenke, *Articulatio interphalangea medialis et distalis***

Die bei den Hsgt. als Sattelgelenk ausgebildeten medialen und distalen Zehenmittelgelenke werden von den distalen Gelenkwalzen der Phalanx proximalis und medialis sowie den distalen Gelenkgruben der Phalanx medialis und distalis gebildet (NICKEL, 2001). TILLMANN (2003) beschreibt die Gelenksfläche der proximalen und mittleren Phalanxköpfe II-V als rollenförmig, die Basen der Mittel- und Endphalangen als keilförmig, wobei die große Zehe nur ein Interphalangealgelenk besitzt, das distale Gelenk der kleinen Zehe manchmal auch fehlen kann. Sie sind als Scharniergelenke ausgebildet.

## **Gelenkskapsel**

Die Gelenkskapseln werden durch Kollateralbänder seitlich verstärkt. Beim Menschen findet man zusätzlich eine verstärkende Dorsalappanurose (TILLMANN, 2003). Beim den Hsgt. Findet man dorsal und plantar unterschiedlich stark ausgebildete Ausbuchtungen der Gelenkskapsel.

## **Bänder der Zwischenzehengelenke**

Die Seitenbänder , Lig. collaterale medialis und lateralis, stellen beim Fleischfresser und Menschen die einzigen Bänder des Gelenks dar. Nur das Pfd., Schw. und Wdk. besitzen ein zusätzliches plantares Band.

## **Verbindung der Zehen untereinander**

Zwischen den einzelnen Zehen, im Bereich der Metakarpophalangealgelenke, bei mehrstrahligen Individuen Ringbänder, Ligg. anularia palmaria ausgebildet, die seitlich am Sesambein eines jeden Paares befestigt, die Sehnen der Zehenbeuger palmar als Rind umgreifen. Zusätzlich verkehren zwischen 2. und 3., 3. und 4. sowie 4. und 5. Zehe die tiefen Zehenspannbänder, Ligg. metacarpea transversa proff. Das oberflächliche Zehenspannband zieht zwischen dem Distalende des 2. und 5. Mittelfußknochen als quergespanntes Band (NICKEL, 2001).

### **3. Material und Methode**

#### **3.1. Auswahl der Elefanten**

Die von mir zur Sektion herangezogenen Exemplare stammen aus dem Leichenbestand des Department für Anatomie und Physiologie der Veterinärfakultät Onderstepoort, Pretoria/Südafrika. Die Tiere wurden im Zuge des offiziellen Herdenmanagementprogramms zu Regulierung des Elefantenbestandes („Culling“) erlegt, und an die oben genannte Einrichtung vergeben. Zur Untersuchung kamen 5 juvenile männliche Afrikanische Elefanten im Alter von einigen Monaten. Weiters war es mir möglich, die 46-jährige afrikanische Elefantenkuh „Jumbo“ des Tiergartens Schönbrunn (Wien) in meine Studien aufzunehmen, nachdem sie überraschend und ohne äußere Einwirkung dort verstorben war. Bei diesem Individuum konnten die Hüftgelenke auf Grund der Grobzerlegung des Kadavers nicht untersucht werden.

Zum osteologischen Vergleich dienten mir weiters die Skelette aus den osteologischen Sammlungen des Instituts für Anatomie (Departments für Pathobiologie) der Veterinärmedizinischen Universität Wien und des naturhistorischen Museums Wien.

#### **3.2. Makroskopisch - anatomische Präparation**

Die zur Verfügung gestandenen Hinterextremitäten wurden nach den Methoden der makroskopischen Anatomie untersucht. Die nachfolgende Benennung der anatomischen Strukturen erfolgte gemäß den Standards der Nomina Anatomica Veterinaria (NAV, 1994) und der Terminologia Anatomica (1998).

Alle im Rahmen der Fragestellung wesentlichen Funktionsebene wurden schriftlich und zeichnerisch festgehalten und zusätzlich digitalphotographisch dokumentiert. Für die Anfertigung detailgetreuer anatomischer Zeichnungen wurde eine professionelle Zeichnerin beauftragt.

### **3.2 Mikroskopisch – anatomische Präparation**

Von allen untersuchten Elefanten wurden kleine Knorpelblöcke mit der subchondralen Knochenschicht zentral, medial und lateral aus der proximalen und distalen Gelenksfläche der Tarsalknochen sowie aus den offensichtlich knöchernen Strukturen welche distal der Phalanges digitales distales gefunden wurden, entnommen. Die Präparate wurden in neutralem Formalin fixiert.

Auf Grund ihrer jahrelangen Lagerung in 4% neutraler Formalinlösung, lagen die Präparate in bereits fixierter Form vor. Für die histologisch Untersuchung wurden die Präparate in einer Mischung aus gleichen Teilen Ameisensäure (125 ml Ameisensäure in 125 ml destilliertem Wasser) und Natriumcitratlösung (50 mg Natriumcitrat in 250 ml destilliertem Wasser) entkalkt. Danach wurden sie für 24 Stunden in einer 5% Natriumsulfatlösung und für weitere 24 Stunden in einem Wasserbad gelagert um sie danach routinemäßig zu dehydrieren und in Paraplast<sup>®</sup> (Vogel Histo-Comp, Giessen, Deutschland) zu fixieren. Um die Präparate histologisch mittels Lichtmikroskopie auswerten zu können, wurden die im rechten Winkel zur Gelenksoberfläche geschnittenen, 3 µm dicken histologischen Präparate mit Mayer`s Haematoxylin und Eosin gefärbt.

#### **3.2.1 Spezialfärbungen**

Um den Aufbau der extrazellulären Matrix der untersuchten Gelenkknorpel beurteilen zu können und die Zusammensetzung der sauren Glycosaminoglycane sichtbar zu machen, wurden Färbungen mit Alzian Blau (pH 4.0) oder Safranin O angefertigt.

Kollagenes Fasergewebe wurde mit Van Gieson`s Färbung sichtbar gemacht. Außer der Safranin O Färbung (Lillie 1954), wurden alle verwendeten Färbetechniken nach Romeis (1989) durchgeführt. In einer Pilotstudie von Egger et al. (2006) konnte nachgewiesen werden, dass spezifische immunhistochemische Färbeverfahren im Knorpelgewebe des Elefanten nicht einsetzbar sind. Die Verteilung einzelner Komponenten der extrazellulären Matrix der Talusgelenke des Elefanten konnte lediglich mit konventionellen Färbemethoden und dem elektronenmikroskopischen Verfahren sichtbar gemacht werden.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Das Hüftgelenk

#### 4.1.1 Artikulierende Skelettelemente

Im Hüftgelenk artikulieren das Caput ossis femoris und das Acetabulum des Hüftbeins. Das Acetabulum (Abb. 1) ist nach kaudal, lateral und ventral geneigt und wird durch die Verschmelzung der drei Hüftknochen gebildet. Der knöcherne „Limbus acetabuli“ und das stark ausgebildete Labrum acetabuli (Abb. 1 L) umgeben cranial, lateral und kaudal die großflächige Facies lunata. Kaudomedial wird der Limbus und das Labrum acetabuli durch die tiefe Incisura acetabuli unterbrochen. Das Lig. transversum (Abb. 1 T) zieht in diesem Bereich zwischen dem Vorder- und Hinterhorn der Facies lunata und überbrückt somit diesen Einschnitt. Die der Femurkopfgrube gegenüberliegende annähernd tropfenförmige Fossa acetabuli (Abb. 1 F) wird vom inneren Rand der halbmondförmigen Facies lunata glattrandig begrenzt. Sie liegt etwas tiefer als die Gelenksfläche und ist zentral von lockerem, fettreichem Bindegewebe ausgefüllt, welches von einer unregelmäßig breiten Zone von Stratum synoviale umgeben wird, die sich bis in den Bereich der Incisura acetabuli ausdehnt und kleine Zotten erkennen lässt. Hier ziehen kleine Gefäße von kaudal her durch den Spaltraum unter dem Lig. transversum in das Bindegewebe der Fossa acetabuli. Das Synovialgewebe erstreckt sich regelmäßig, aber in unterschiedlicher Ausdehnung in lateraler Richtung über den Rand der Fossa acetabuli im Sinne einer Fossa synovialis hinaus. Die gesamte von Fossa acetabuli und Fossa synovialis eingenommene Fläche entspricht in ihren Konturen denen der gegenüberliegenden Fovea capitis femoris.

Das Caput ossis femoris ist nahezu perfekt kugelförmig gestaltet und dorsolateral weit nach distal reichend mit Knorpel bedeckt (Abb. 2). Der ventromediale Gelenksknorpel endet hingegen deutlich weiter proximal. Im kaudomedialen Quadranten des Gelenkskopfes findet sich eine seichte dreieckige Einbuchtung in den Gelenksknorpel, welche in manchen Fällen nur schwer zu erkennen ist (Abb. 2 F). Die distale Kante dieser dreieckigen Grube, als Fovea capitis femoris bezeichnet werden kann, liegt direkt über der Epiphysenfugenlinie des Femurkopfes und bildet einen nicht mit Knorpel überzogen Streifen. Der verhältnismäßig kurze und gedrungene Femurkopfhals (Collum ossis femoris) ist gegen den Schaft (Corpus ossis femoris) in einem Winkel von ca. 135° geneigt.

#### 4.1.2 Gelenkkapsel und bandartige Strukturen

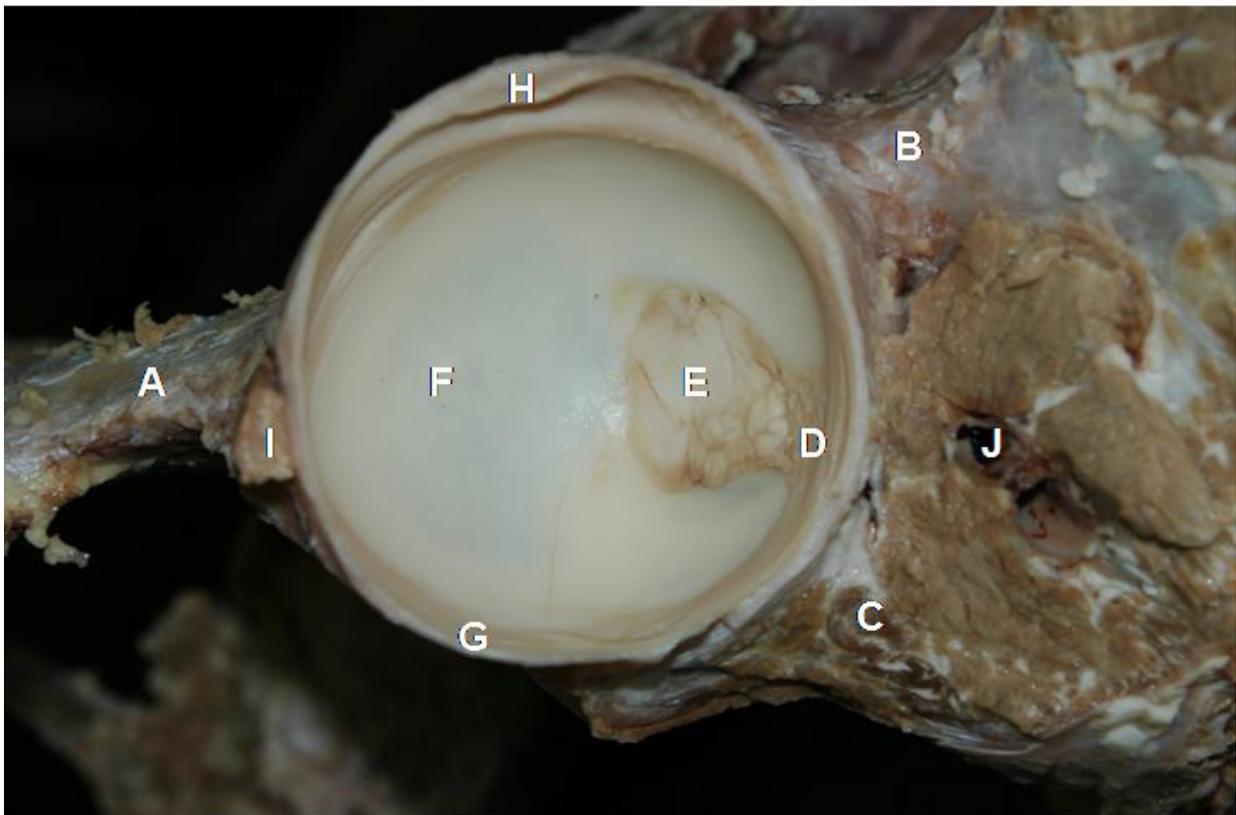
Die Faserrichtung des Stratum fibrosum der Hüftgelenkkapsel ist im kranialen und kaudalen Abschnitt zirkulär gerichtet, lateral und kranial finden sich massive Verstärkungszüge, kaudomedial ist die Gelenkkapsel nur von einer sehr schwachen, zirkulären Fibrosa verstärkt. Der Kapselansatz erfolgt deutlich distal des Gelenkknorpelrandes, so dass das Stratum synoviale einen schmalen Streifen des Collum ossis femoris noch mit überzieht. Am Kranialabschnitt der Gelenkkapsel findet sich ein Verstärkungsband, welches seinen Ursprung breit am kraniolateralen Acetabulumrand, überlagert vom Ursprung des M. articularis coxae, hat (Abb. 4). Auch weiterhin vom Muskel überlagert, zieht das Band in distomedialer Richtung über die Kapsel um kranial des Trochanter minor zu inserieren. Die laterale Kapselverstärkung strahlt in zwei Hauptfaserzügen vom kaudolateralen Acetabulumrand und von den zirkulären Fasern der kaudolateralen Kapselwand in distomedialer Richtung in den cranialen Faserzug ein. Zusammen mit dem M. articularis coxae erlauben die beiden Kapselverstärkungen eine maximale Streckung der Hüfte von nur 42°, welche nach dem Abpräparieren dieser Struktur auf mehr als 55° gesteigert wird. In keinem der untersuchten Hüftgelenke konnte ein Lig. capitis femoris oder Lig. accessorium capitis femoris gefunden werden, wobei die für die Anheftung des Femurkopfbandes vorgesehenen Gelenkkörperpositionen in unterschiedlicher Weise modifiziert erscheinen: In der Fossa acetabuli präsentiert sich ein zentraler Fettkörper, umgeben von mit Zotten besetztem Synovialgewebe, während die Femurkopfgarbe bis auf einen schmalen knorpelfreien Streifen nahe des Kapselansatzes von Gelenkknorpel überzogen ist.

#### 4.1.3 Umgebende Muskulatur

Der M. gluteus profundus bedeckt die Gelenkkapsel kraniolateral fast vollständig und bildet an seiner, dem Gelenk zugewandten Seite ein starkes Fasziablatt aus. Kaudal des M. rectus femoris entspringend, legt sich der M. articularis coxae kranial über das Gelenk (Abb. 3). Dessen Ursprung liegt breit am kraniolateralen Rand des Acetabulum, er verläuft in leicht gewundener Faserrichtung anfänglich als flacher, breiter Muskel über die Gelenkkapsel und setzt in weiterer Folge schmaler werdend mit dreieckigem Querschnitt cranial des Trochanter minor zwischen dem ansetzenden M. iliopsoas und dem entspringenden M. quadriceps femoris an.

Kaudal des M. gluteus profundus ziehen die Mm. gemelli und Teile des M. obturatorius externus vom Becken in den Bereich der Fossa trochanterica. Der M. gluteus medius bedeckt kaudolateral jene Kapselanteile welche vom M. gluteus profundus und den Mm.gemelli nicht überquert werden. Medial erfolgt die Abdeckung der Hüftgelenkskapsel ausschließlich von den Mm. adductores.

Von der Medialkante des Vorderhorns der Facies lunata springt eine große, halbmondförmige Synovialzotte in das Gelenk vor. Weiters konnte in einigen Individuen ein kleiner synovialer Recessus gefunden werden, welcher sich unter dem Lig. transversum durch die Incisura acetabuli in Richtung des Foramen obturatum vorwölbt.

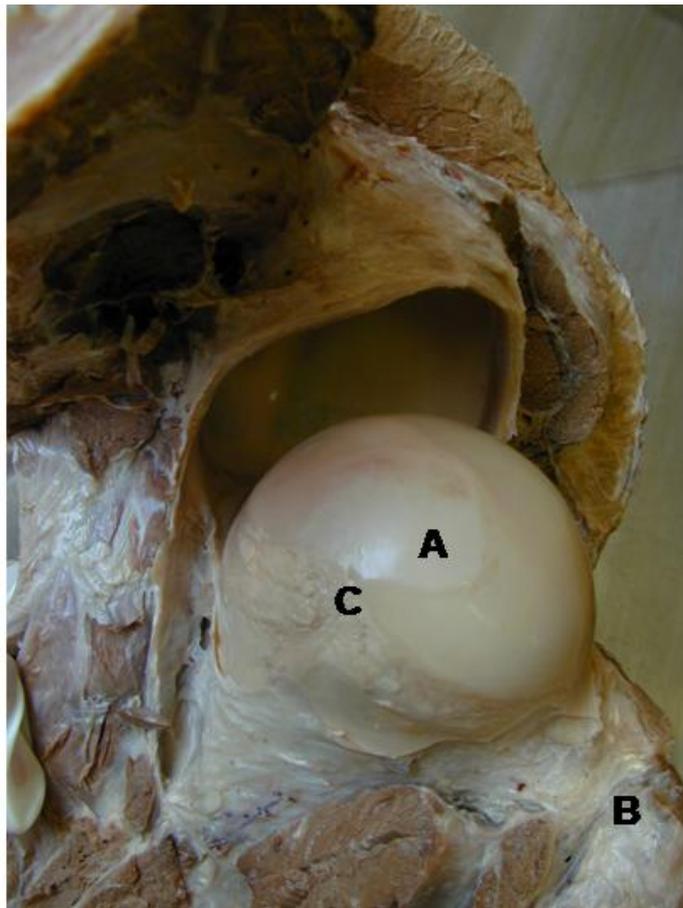


**Abb. 1: Acetabulum**

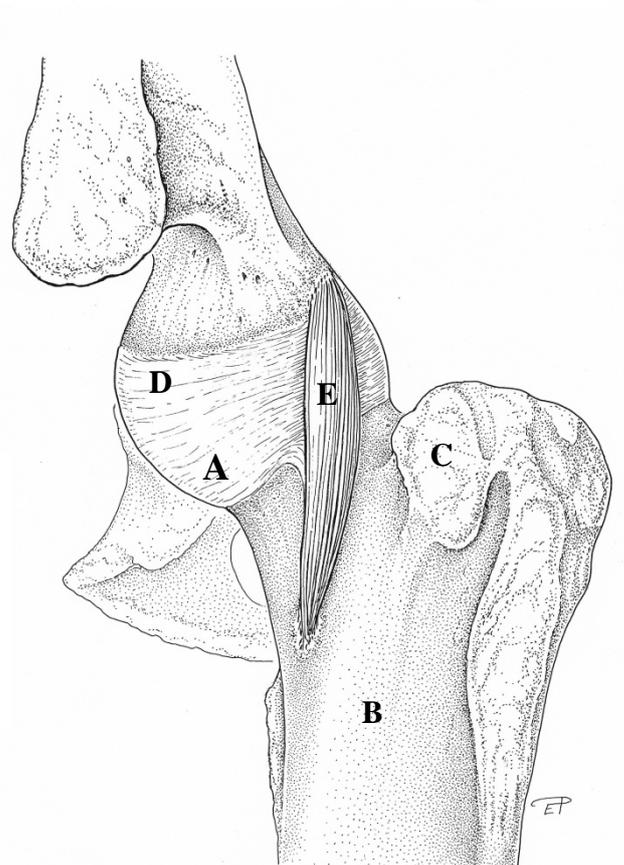
Ansicht von distal

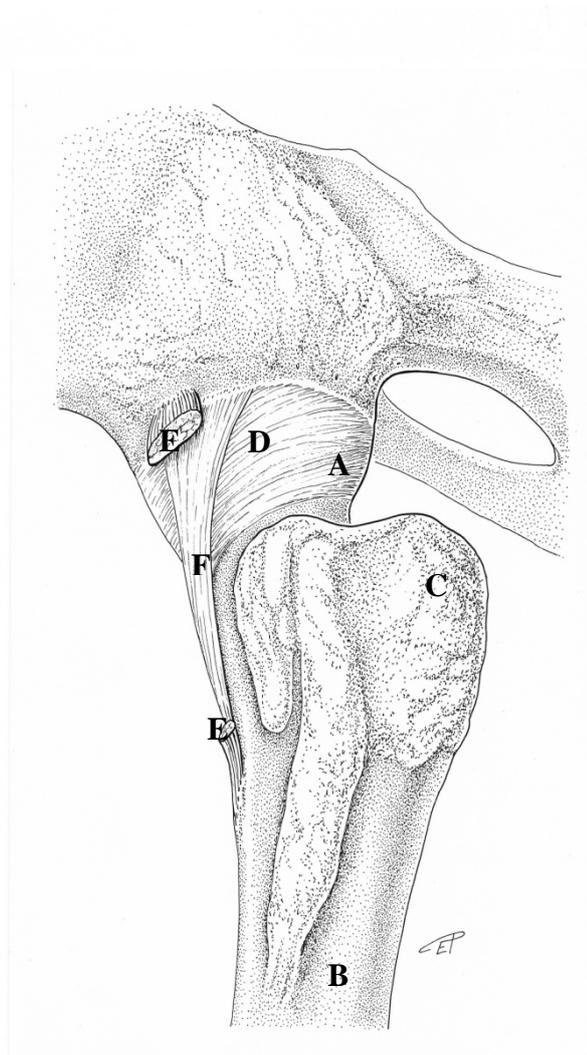
A – Os ilium; B – Os ischii; C – Os pubis; D – Incisura acetabuli; E – Fossa acetabuli;  
F – Facies lunata; G – Labrum acetabuli; H - Capsula articularis; I - M. articularis coxae;  
J – Foramen obturatum

**Abb. 2: Articulatio coxae**  
 Ansicht von caudomedial, Kapsel  
 eröffnet  
 A – Caput ossis femoris  
 B – Trochanter major  
 C – Fovea capitis femoris



**Abb. 3: Articulatio coxae**  
 Ansicht von craniolateral  
 A – Caput ossis femoris  
 B – Os femoris, Diaphyse  
 C – Trochanter major  
 D – Capsula articularis  
 E – M. articularis coxae





**Abb. 4: Articulatio coxae**

Ansicht von lateral nach Teilresektion  
des M. articularis coxae

A – Caput ossis femoris

B – Os femoris, Diaphyse

C – Trochanter major

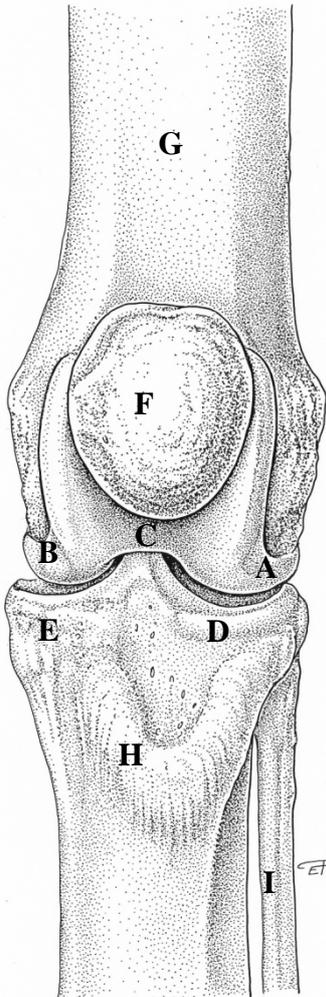
D – Capsula articularis

E – M. articularis coxae

F – craniale Kapselverstärkung

## 4.2 Das Kniegelenk

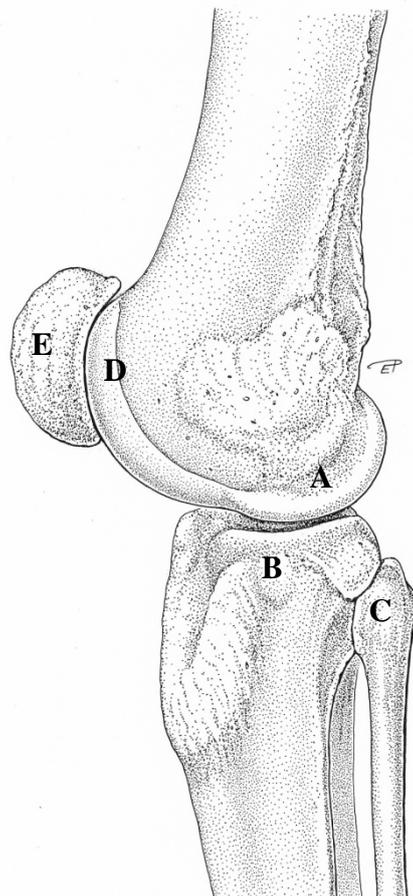
Beim juvenilen afrikanischen Elefanten setzt sich die Art. genus aus dem Kniekehlgelenk (Art. femorotibialis) und dem Kniescheibengelenk (Art. femoropatellaris) zusammen (Abb. 5, 6, 7). Die Patella stellt das einzige an der Gelenksbildung beteiligte Sesambein dar. Zwischen den einzelnen untersuchten Gelenken traten nur minimale strukturelle Unterschiede auf.



**Abb. 5: Articulatio genus, Skelettelemente**

Ansicht von cranial

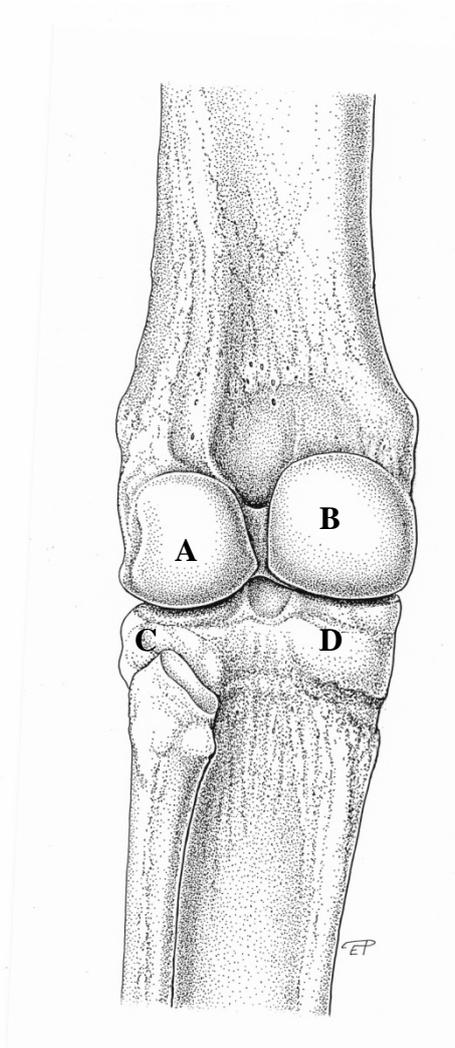
- A – Condylus lateralis femoris
- B – Condylus medialis tibiae
- C – Trochlea ossis femoris
- D – Condylus lateralis tibiae
- E – Condylus medialis tibiae
- F – Patella
- G – Femur
- H – Tibia
- I – Fibula



**Abb. 6: Articulatio genus, Skelettelemente**

Ansicht von lateral

- A – Condylus lateralis femoris
- B – Condylus lateralis tibiae
- C – Caput fibulae
- D – Trochlea ossis femoris
- E – Patella



**Abb. 7: Articulatio genus, Skelettelemente**

Ansicht von caudal

A – Condylus lateralis femoris

B – Condylus medialis femoris

C – Condylus lateralis tibiae

D – Condylus medialis tibiae

E – Caput fibulae

#### 4.2.1 Morphologie

Das Kniegelenk ist lateral von den distalen Enden der Fascia lata und des M. biceps femoris bedeckt. Medial findet man eine dicke aponeurotische, fascienartige Struktur sowie Anteile der Mm. gracilis, semimembranosus und semitendinosus, welche das Knie bedecken. Kaudal am Kniegelenk liegen die Ursprungsköpfe der Mm. gastrocnemius und flexor digitorum superficialis. Die Ursprungsehne des M. popliteus entspringt lateral am Condylus lateralis femoris und zieht in medio-distaler Richtung über die kaudalen Anteile des lateralen Meniskus (Abb. 8 D). Im kaudalen Bereich des Condylus lateralis tibiae und des Caput fibulae wird der M. popliteus von einem synovialen Recessus des Femorotibialgelenkes unterlagert.

Die Ansatzsehnen der Mm. vasti medialis, intermedius und lateralis inserieren breit an der Patella, die distale Endsehne des M. rectus femoris hingegen überzieht unabhängig von den

anderen Teilen des M. quadriceps femoris die Patella kranial ohne anzusetzen und inseriert mit einer eigenständigen Sehne an der Tuberositas tibiae (Abb. 9 H).

Das Elefantenknie besitzt ein eigenständiges, kaudal der Endsehne des Musculus rectus femoris verlaufendes Lig. patellae (Abb. 9 G), jedoch sind keine ausgeprägten Retinacula patellae erkennbar. Das Lig. collaterae mediale (Abb. 9 F) und das etwas schmalere Lig. collaterae laterale (Abb. 10 E) sind in die dicke Faszien-schicht des Kniegelenkes eingebettet. Das Lig. collaterale mediale setzt am Condylus medialis tibiae an und das Lig. collaterale laterale am Caput der Fibula, wobei an letzterem auch ein cranialer Ursprungskopf des M. extensor digitorum longus anheftet (Abb. 10 H).

Der laterale Condylus des Femur ist im Vergleich zum medialen etwas schlanker und reicht etwas weiter nach distal als dieser. Die Gelenksanteile der Condylen und der Trochlea femoris bilden eine einheitliche Gelenksfläche. In Folge der ausgeprägten Konkavität der Tibiacondylen zeigen die Gelenksflächen von Femur und Tibia eine hoch ausgeprägte Kongruenz.

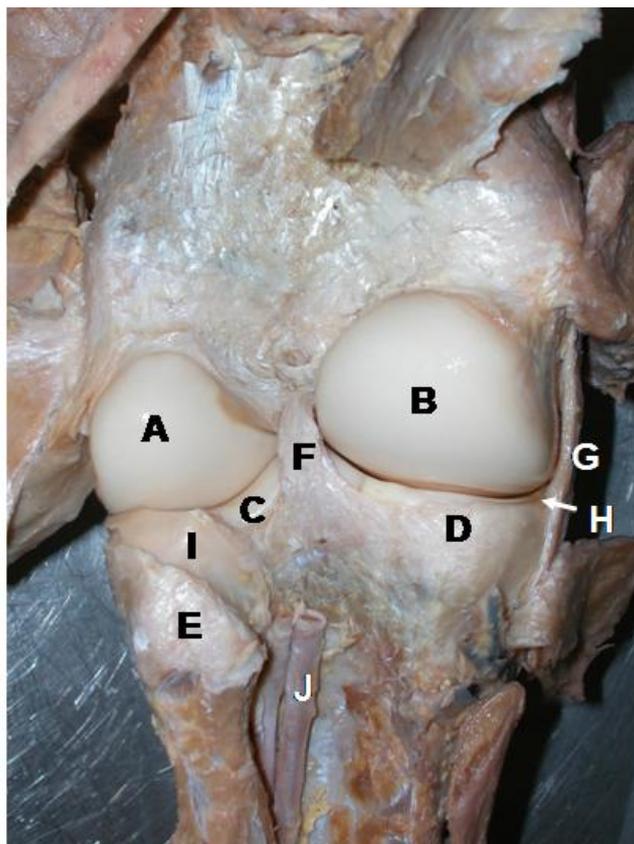
Die Kniegelenkskapsel umschließt das Femorotibial- und das Femoropatellargelenk. Die Kapsel stellt sich sehr straff dar und verbindet sich mit den äußeren Anteilen der Menisken. Das Corpus adiposum infrapatellare ist sehr groß ausgebildet und es ist sowohl eine Plica synovialis infrapatellaris als auch mehrere Plicae alares (*Terminologia Anatomica*; beide Ausdrücke sind in der *Nomina Anatomica Veterinaria* nicht angeführt) ausgebildet.

Die beiden C-förmigen und in ihrem Querschnitt dreieckigen Menisken sind beim juvenilen Elefanten sehr schmal und an ihren äußeren, breiteren Rändern mit der Gelenkskapsel verwachsen. Der mediale Meniskus ist im Vergleich zum lateralen schwächer ausgebildet, wobei der kaudale Anteil des lateralen Meniskus eher einer dünnen Kapselfalte bzw. einer dünnen Scheibe, als einem Meniskus gleicht und in seinem kaudolateralen Aspekt für den M. popliteus eine Eintiefung aufweist. Beide Menisken sind kranial mit der Tibia verbunden. Die Verbindung des medialen Meniskus mit der Tibia liegt nahe dem Ursprung des Lig. cruciatum craniale. Ebenso gibt es ein Lig. meniscofemorale, welches den kaudalen Teil des lateralen Meniskus mit der inneren Seite des medialen Condylus femoris verbindet. Dieses Band verschmilzt in der Nähe seines knöchernen Ansatzes teilweise mit dem kaudalen Kreuzband

und der Gelenkkapsel und bildet eine ligamentöse Verlängerung des lateralen Meniskus in die Richtung des Condylus femoris medialis.

Das Lig. cruciatum craniale ist abgeflacht, in seinem Querschnitt elliptisch bis dreieckig und verläuft sagittal zwischen der Lateralwand der Fossa intercondylaris femoris und einer kraniolateralen Vertiefung an der Eminentia intercondylaris tibiae. Eine synoviale Falte zieht proximokraniel zur Untefläche des vorderen Kreuzbandes auf. Das Lig. cruciatum caudale zieht vom kaudalen Ende der lateralen Fläche des Condylus medialis femoris zur Area intercondylaris caudalis (Abb. 10 F). An seinem distalen Ende verbindet sich das hintere Kreuzband mit der Kniegelenkkapsel.

Zwischen der Ursprungssehne des M. popliteus, welche kaudal über den Meniscus lateralis zieht, und dem Condylus lateralis tibiae bzw. dem Caput fibulae findet man einen Rezessus der Gelenkkapsel.



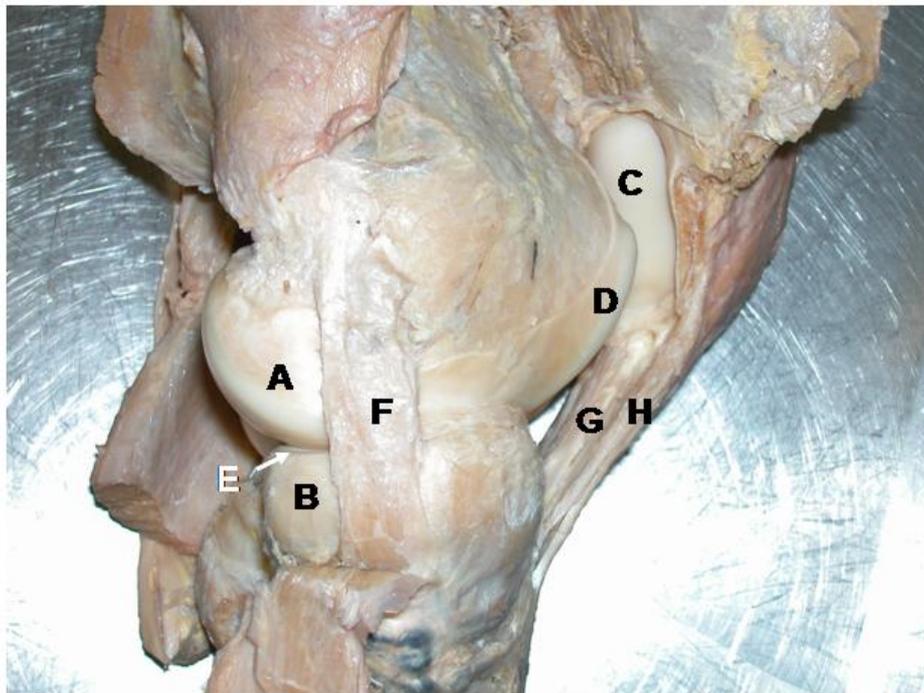
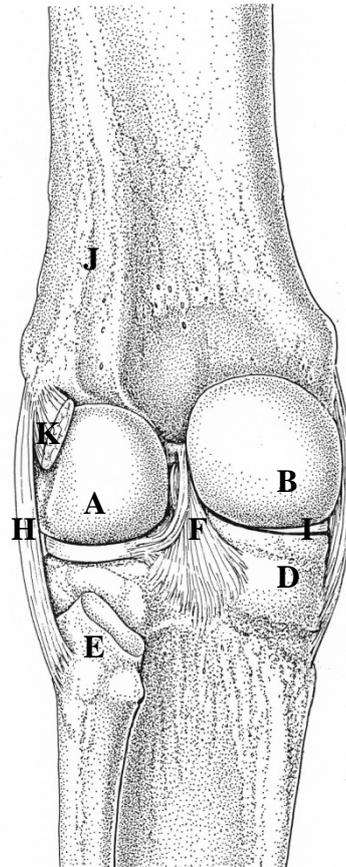
**Abb. 8: Articulatio genus, Bandapparat**

Ansicht von caudal

A – Condylus lateralis femoris; B – Condylus medialis femoris; C – Condylus lateralis tibiae; D – Condylus medialis tibiae; E – Caput fibulae; F – Lig. cruciatum caudale; G – Lig. collateralen mediale; H – Meniscus medialis; I – Sulcus m. poplitei; J – Arteria poplitea

**Abb. 8A: Articulatio genus, Bandapparat**  
 Ansicht von caudal, schematische Darstellung

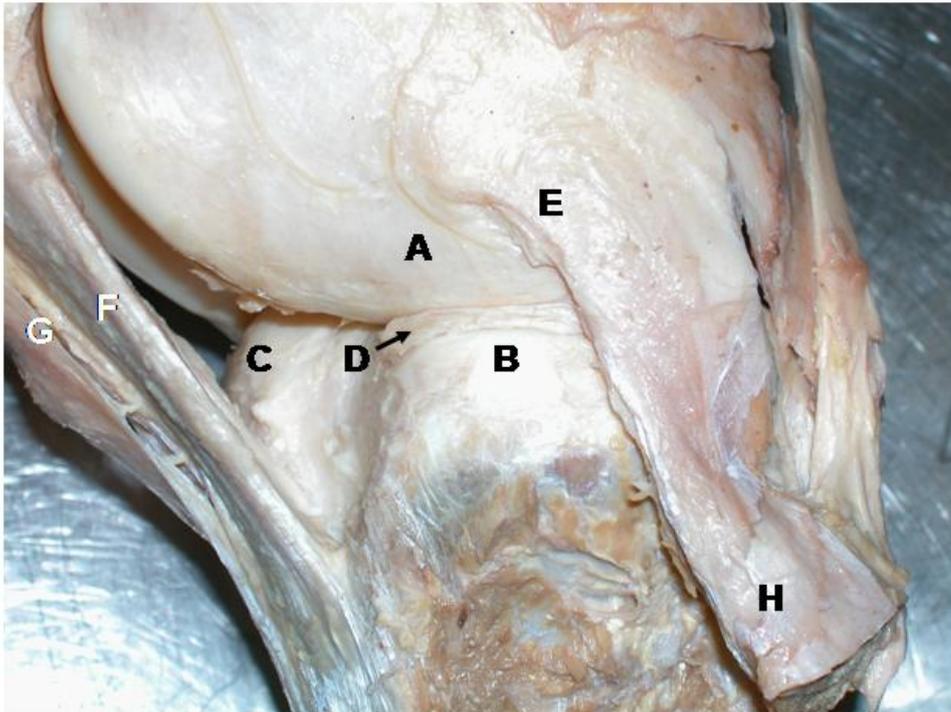
- A – Condylus lateralis femoris
- B – Condylus medialis femoris
- C – Condylus lateralis tibiae
- D – Condylus medialis tibiae
- E – Caput fibulae
- F – Lig. cruciatum caudale
- G – Lig. collaterale mediale
- H – Lig. collaterale laterale
- I – Meniscus medialis
- J – Meniscus lateralis
- K – M. popliteus



**Abb. 9: Articulatio genus, Bandapparat**

Ansicht von medial

- A – Cond. med. femoris; B – Cond. med. tibiae; C – Patella; D – Trochlea ossis femoris;
- E – Meniscus medialis; F – Lig. collaterale mediale; G – Lig. patellae; H – Tendo musculi recti femoris



**Abb. 10: Articulatio genus, Bandapparat**

Ansicht von lateral

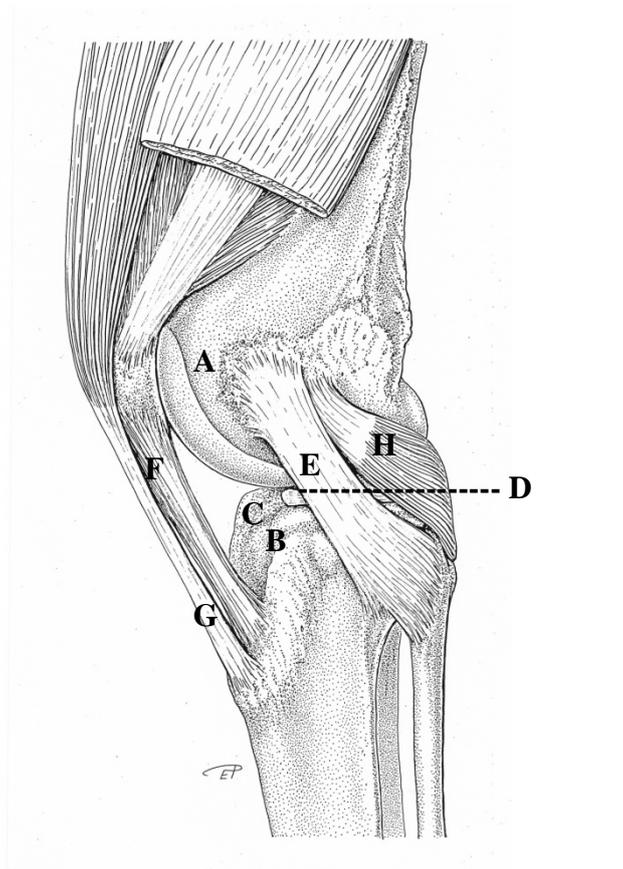
A – Cond. lat. femoris; B – Cond. lat. tibiae; C – Cond. med. tibiae; D – Meniscus lateralis; E – Lig. collaterale laterale; F – Lig. patellae; G – Tendo musculi recti femoris; H – Caput fibulae

meniscus  
recti femoris;

**Abb. 10A: Articulatio genus, Bandapparat**

Ansicht von lateral, schematische Darstellung

A – Condylus lateralis femoris  
 B – Condylus lateralis tibiae  
 C – Condylus medialis tibiae  
 D – Meniscus lateralis  
 E – Lig. collaterale lateralis  
 F – Lig. patellae  
 G – Tendo musculi recti femoris  
 H – M. nonliteus

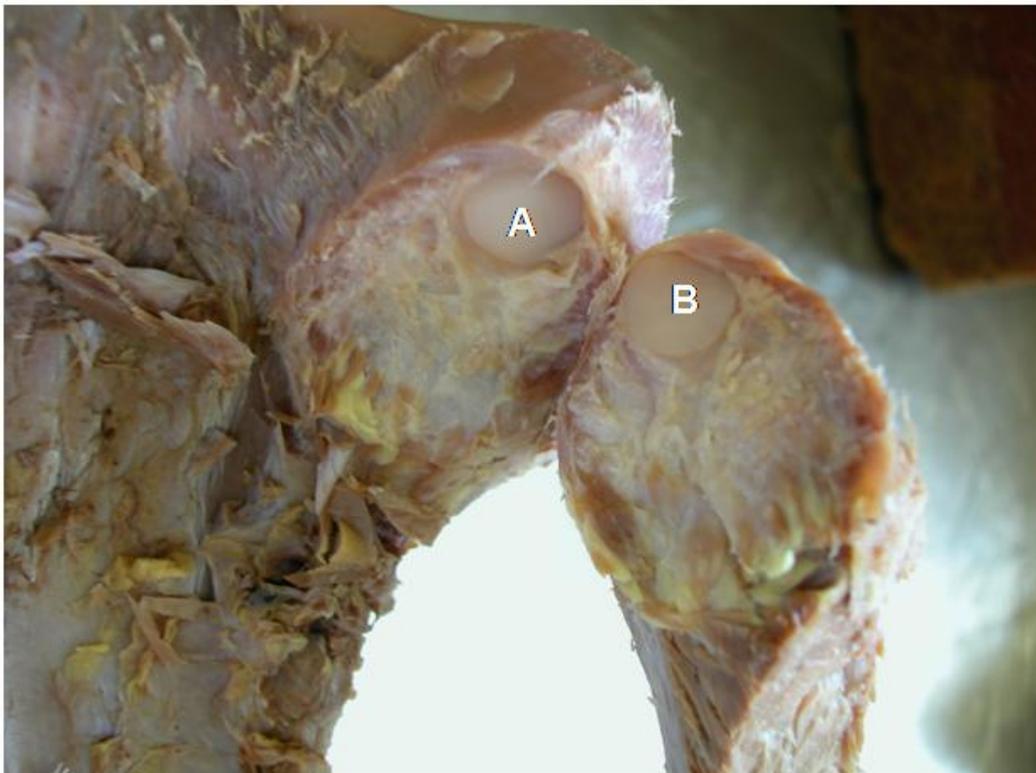


### 4.3 Das Tibiofibulargelenk

#### Artikulierende Anteile

Wie bei vielen anderen Hsgt. findet man im Unterschenkel des Afrikanischen Elefanten eine völlig ausgebildete Fibula und Tibia. Beide Knochen stehen jeweils an ihren proximalen und distalen Enden durch die *Articulationes tibiofibularis proximalis et distalis* miteinander in gelenkiger Verbindung.

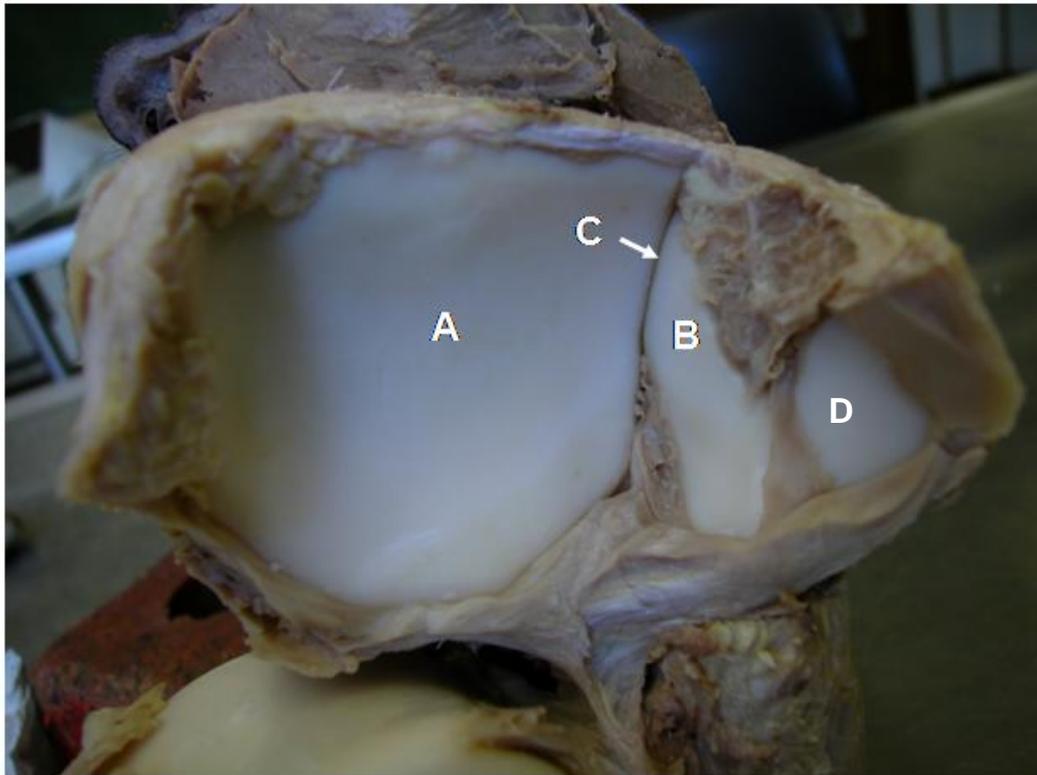
An der kaudalen Basis des Condylus lateralis tibiae, ist für die *Art. tibiofibularis proximalis* eine gut ausgebildete, runde bis ovale konkave Gelenksfläche für die konvexe craniale *Fac. articularis capitis fibulae* vorhanden. (Abb. 11)



**Abb. 11: Articulatio tibiofibularis proximalis, Gelenkkörper**

Ansicht von caudolateral

A – Facies articularis fibularis proximalis tibiae; B – Facies articularis capitis fibulae.



**Abb. 12: Articulatio tibiofibularis distalis, Gelenkkörper**  
 Ansicht von distal  
 A – Cochlea tibiae; B – Facies articularis talaris fibulae. C – Articulatio tibiofibularis distalis, Gelenkspalt; D - Facies articularis calcanea fibulae

Am distalen Ende der Tibia ist lateral eine konkave Gelenksfläche zu finden. Sie ist etwas nach caudal gerichtet und bildet mit der nach craniomedial gerichteten konvexen Facies *articularis malleoli* der Fibula die *Art. tibiofibularis distalis* (Abb. 12).

Gelenkscapsel, Bänder und Gelenkshöhle

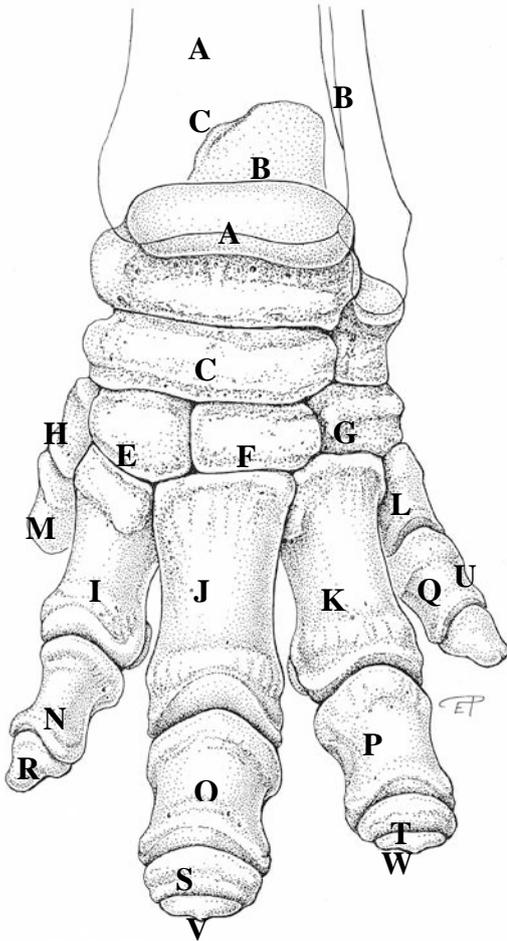
Die Gelenkkapsel des *proximalen Tibiofibulargelenks* ist eng und bildet lateral einen kleinen Recessus der etwas nach kaudal reicht. Sie wird sowohl medial als auch lateral durch dicke Bandmassen verstärkt, welche beide knöchernen Gelenksanteile straff miteinander verbinden. Es ist nicht möglich, einzelne Bänder von einander zu differenzieren. Die Gelenkhöhle des Tibiofibulargelenks steht mit dem Cavum articulare laterale des Kniegelenks in Verbindung.

Am distalen Rand gehen die Gelenksbandmassen in die sehnige *Membrana interossea cruris* über, die sich zwischen den Schäften von Tibia und Fibula bis zur Art. tibiofibularis distalis ausspannt.

Im *distalen Tibiofibulargelenk* stellt sich die Gelenkkapsel sehr eng dar. Die Fixierung der beiden knöchernen Gelenksanteile durch starke Bandmassen von cranial, kaudal und proximal lässt dem Gelenk nahezu keine Bewegungsmöglichkeit und bildet somit eine straffes Knochenverbindung. Die Gelenkhöhle kommuniziert mit dem Cavum articulare des Tarsocruralgelenks.

#### **4.4 Die Gelenke der Fußwurzel (Articulationes tarsi)**

An der Bildung des **Unterschenkel – Hinterfußwurzelgelenks, (Art. talocruralis)**, beteiligen sich die Cochlea der Tibia und die Trochlea tali sowie das distale Ende der Fibula, der Malleolus lateralis, welcher ganz distal auch noch mit dem Calcaneus artikuliert (Abb. 12 FT, FC; Abb. 13, 14).. Die Trochlea des Talus trägt flache Rollkämme und bildet mit den Anteilen der Tibia und Fibula ein Walzengelenk, in dem auch die hauptsächliche Streck- und Beugebewegung des Tarsalgelenks stattfindet.



**Abb. 13: Pes, Skelettelemente**

Ansicht von dorsal

A – Talus

B – Calcaneus

C – Os tarsi centrale

E – Os tarsale II

F – Os tarsale III

G – Os tarsale IV

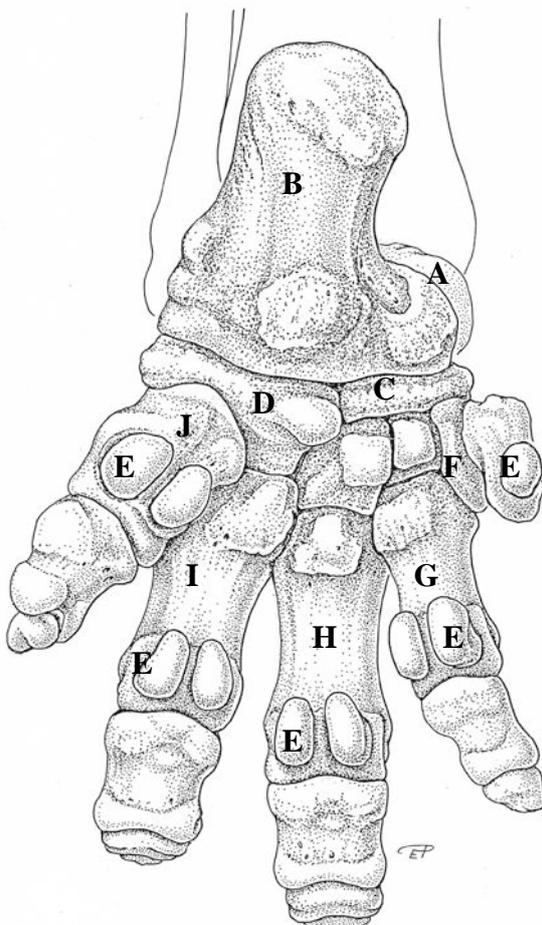
H bis L - Os metatarsale I bis V

M bis Q – Phalanx prox. I bis V

R bis U – Phalanx media II bis V

V – Phalanx distalis III

W – Phalanx dist. IV



**Abb. 14: Pes, Skelettelemente**

Ansicht von plantar

A – Talus

B – Calcaneus

C – Os tarsi centrale

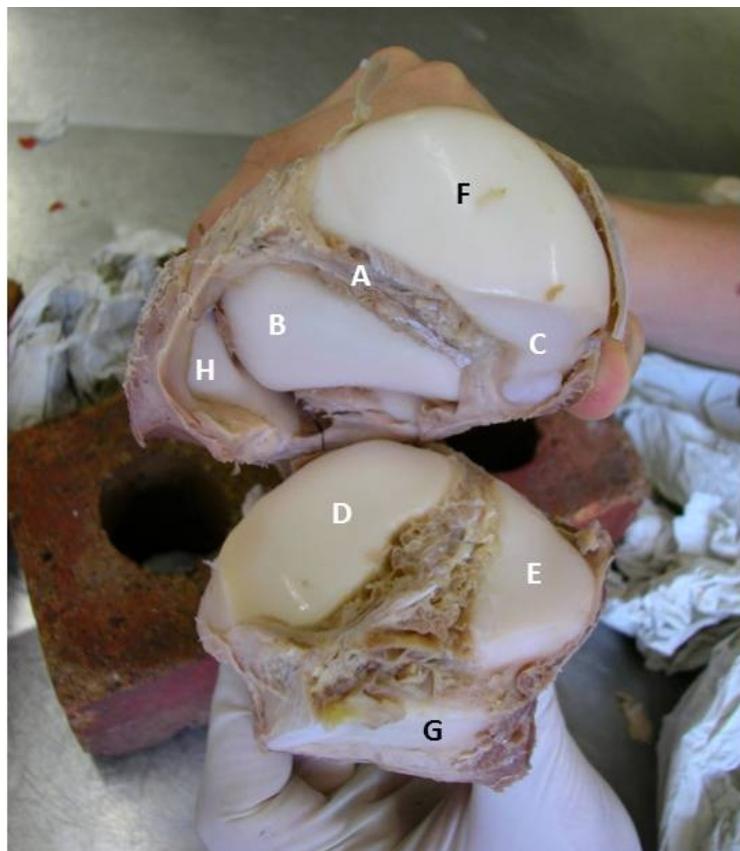
D – Os tarsale IV

E - Ossa sesamoidea

F bis J – Os metatarsale I bis V

**Im oberen Hinterfußwurzel – Mittelgelenk, (Art. talocalcaneocentralis et calcaneoquartalis),** artikulieren die Knochen der proximalen Reihe, Talus und Calcaneus, mit dem medial liegenden *Os tarsi centrale* und dem *Os tarsale quartum* der distalen Reihe. Das *Os tarsi centrale* ist der einzige Fußwurzelknochen der mittleren Tarsalreihe.

Eine freie Beweglichkeit zwischen den insgesamt konkaven Gelenksflächen des Talus und den kongruenten Gelenksfläche des Calcaneus ist beim Afrikanischen Elefanten nicht möglich, da beide Knochen durch ein sehr starkes interossäres Band zu einem straffen Gelenk verbunden sind (Abb. 15 A). Dieses in transversal verlaufenden Knochenrauigkeiten entspringende Lig. interosseum unterteilt die gemeinsamen Gelenksflächen der beiden Fußwurzelknochen in laterale (Abb. 15 B, D) und mediale (Abb. 15 C, E), in manchen Fällen auch drei kleinere Gelenksflächen, wobei das Band aus seinem zentralen Bereich einen nach distal gerichteten Ausläufer entlässt, der die distale Gelenksfläche in einen medialen und lateralen Abschnitt teilt.



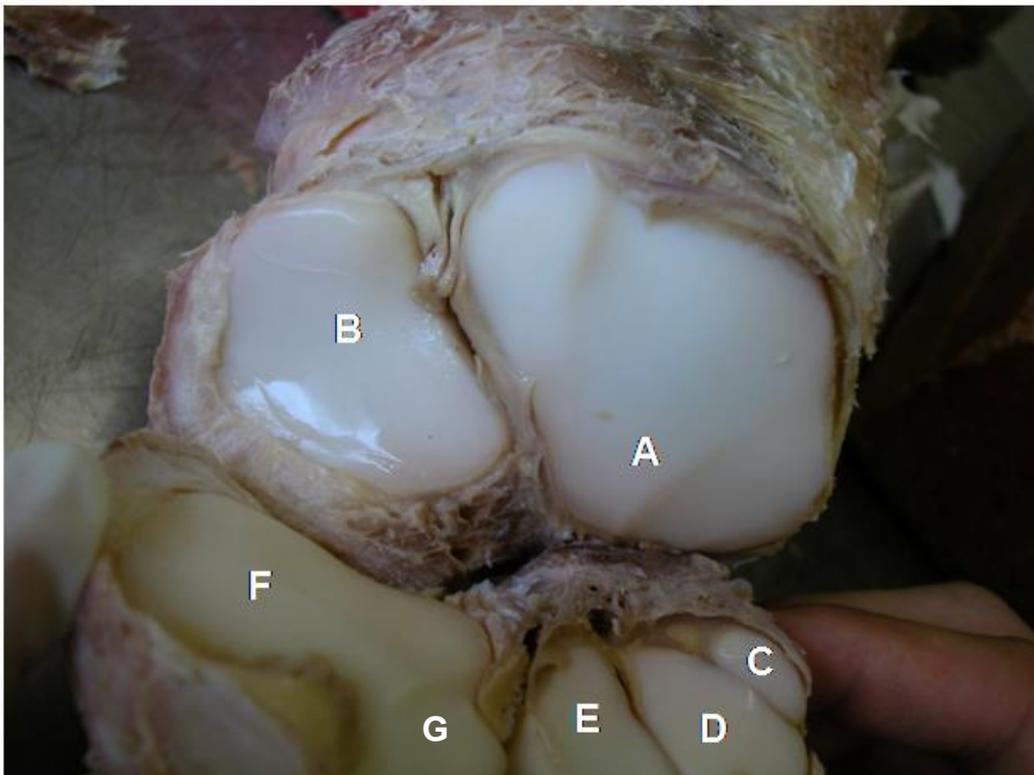
**Abb. 15: Articulatio talocalcanea, Gelenkkörper**

Gelenk aufgeklappt

A – Lig. interosseum; B, C – laterale und mediale Facies articularis calcanea tali. D, E – laterale und mediale Facies articularis talaris calcanei; F - Facies articularis centralis tali; Facies articularis quartalis calcanei; H - Facies articularis fibulae

Für die *Art. talocentralis* bildet der Talus eine konvexe Gelenksfläche für die konkave Gelenksfläche des Os tarsi centrale (Abb. 15 F). Für die *Art. calcaneoquartalis* formt der Calcaneus eine leicht konkave Gelenksfläche für das Os tarsale IV (Abb. 15 G). Das Os tarsi centrale artikuliert über eine nach lateroplantar gerichtete Gelenksfläche und bildet so die *Art. calcaneocentralis*.

- Das **untere Hinterfußwurzel – Mittelgelenk, Art. centrodistalis**, umfasst nicht die gesamte Breite des Tarsalgelenks, sondern reicht lateral nur bis zum ersten Viertel der Gelenksfläche des Os tarsale quartum, da dessen übrige Artikulationsfläche mit dem Reihe bilden mit der Distalfläche des Os tarsi centrale ein straffes, enges Gelenk mit nahezu planen Gelenksflächen. (Abb. 13, 14, 16, ).



**Abb. 16: Articulatio centrodistalis, Gelenkkörper**

Gelenk aufgeklappt

A – Facies articularis distalis centralis; B - Facies articularis quartalis calcanei; C –laterale und mediale calcanea tali. D. E – laterale und mediale Facies articularis talaris calcanei; C- E - Facies articularis centralis primi, secundi et tertii; F - Facies articularis calcanea quarti; G – Facies articularis centralis quarti.

In der distalen Gelenksreihe sind insgesamt drei *Intertarsalgelenke, Artt. intertarseae distales*, zwischen den jeweiligen Tarsalknochen durch plane, von Knorpel überzogene Gelenksflächen gekennzeichnet.

- Die **Hinterfußwurzel – Mittelfußgelenke, Art. tarsometatarseae**, werden beim Afrikanischen Elefanten durch die kongruenten Gelenksflächen der distalen Tarsalreihe und die proximalen Enden der Metatarsalknochen gebildet. Da mit Ausnahme des ersten und fünften Mittelfußgelenks jeweils zwei Tarsalknochen an der Gelenkbildung teilnehmen, wird im Folgenden auch jedes Gelenk selbstständig beschrieben.

#### Articulatio tarsometatarsea I

Sie wird von der konkaven Facies articularis des Mt I und der konvexen, ovalen Facies articularis des Os tarsale I gebildet. In den Gelenksspalt ragt allseitig eine zirkuläre synoviale Gelenkscapsel vor. Die eigenständige Gelenkscapsel bildet von medial über dorsal bis nach lateral einen Recessus, der sich weiter nach proximal und weniger weit nach distal erstreckt. Medial und lateral verkehren ein stärkeres mediales und ein schwächeres laterales Lig. collaterale zwischen den beiden Knochen. Die Gelenkhöhle hat keine Verbindung zu den übrigen Mittelfußgelenken.

#### Articulatio tarsometatarsea II

Das Os metatarsale II bildet proximomedial eine leicht konvexe Artikulationsfläche für das Os tarsale I, proximolateral eine leicht konkave Gelenksfläche an für das Os tarsale II und lateropltantar eine dreieckige Artikulationsfläche für den mediopltantaren Anteil der Gelenksfläche des Os tarsale III. Wie auch im dritten, vierten und fünften Mittelfußgelenk, ist die Gelenkscapsel eng und straff angelegt, differenzierbare Bänder sind nicht nachzuweisen.

#### Articulatio tarsometatarsea III

Das Os metatarsale III artikuliert mit seiner konkaven Fac. articularis proximalis zum größten Teil mit dem Os tarsale III. Mit dem konvexen proximodorsomedialen Gelenksrand steht es mit der distodorsolateralen Gelenksfläche des Os tarsale II in gelenkigem Kontakt.

#### Articulatio tarsometatarsea IV

In diesem Gelenk artikuliert die proximale Gelenksfläche des Os metatarsale IV dorsomedial mit einem kleinen, länglichen Teil der Gelenksfläche des Os tarsale III. Die gesamte laterale, etwas konkave Gelenksfläche artikuliert hingegen mit dem Os tarsale IV.

#### Articulatio tarsometatarsea V

Im fünften Mittelfußgelenk sind nur die konkave Gelenksfläche des Os metatarsale V und die kongruente Gelenksfläche des Os tarsale IV an der Gelenkbildung beteiligt

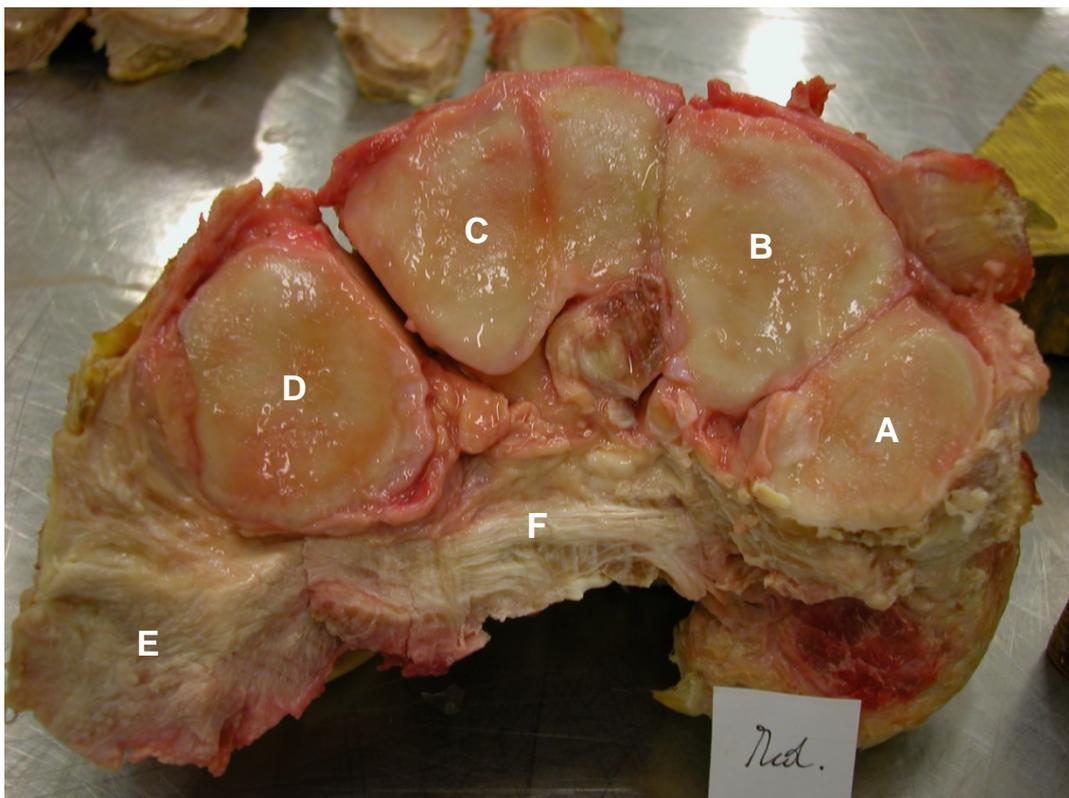
### **4.4.1 Gelenkkapseln und Bandapparat des Tarsus**

Die **Gelenkkapseln** der einzelnen Gelenksetagen des Tarsus unterscheiden sich in ihrer Geräumigkeit und Stärke in Abhängigkeit von ihrer Bewegungsfreiheit und den sie bedeckenden Bandmassen.

Durch die verhältnismäßig große Bewegungsfreiheit des **Unterschenkel – Hinterfußwurzelgelenks, (Art. talocruralis)** und des **oberen Hinterfußwurzel – Mittelgelenks, (Art. talocalcaneocentralis et calcaneoquartalis)** sind auch deren nicht kommunizierende Gelenkkapseln dorsal und plantar entsprechend geräumig. Sie bilden jeweils einen dorsalen Recessus, der etwas nach distal und proximal reicht.

Die Kapselanlagen zwischen den **unteren Hinterfußwurzel – Mittelgelenken, Art. centrodistalis**, den **Hinterfußwurzel – Mittelfußgelenken, Art. tarsometatarsae** und den **Intertarsalgelenken, Art. intertarsae distalis**, stellen sich im Vergleich zu den proximaleren Fußgelenken straffer und dünnwandiger dar. Es werden keine bedeutenden Recessus dorsal über den Gelenksspalten ausgebildet.

An der plantaren Seite werden die mit Ausnahme der beiden proximalen Gelenksetagen engen Kapseln der einzelnen Fußgelenke durchwegs von den massiven Bandstrukturen des Fußgewölbes bedeckt. Somit ist es makroskopisch nicht möglich, eine Unterscheidung zwischen der Kapselwand und den aufliegenden Bandmassen zu treffen (Abb. 17). Die Bänder des Fußgewölbes setzen sich aus dem Lig. plantare longum und dem Lig. plantare zusammen, wobei ersteres vom Tuber calcanei in distolateraler Richtung und longitudinalem Faserverlauf an die Basen des vierten und fünften Mittelfußknochens zieht, letzteres aber einen medial anschließenden, nach distal divergierenden Bandfächer an die Ossa metatarsalia III bis I bildet (Abb. 19).



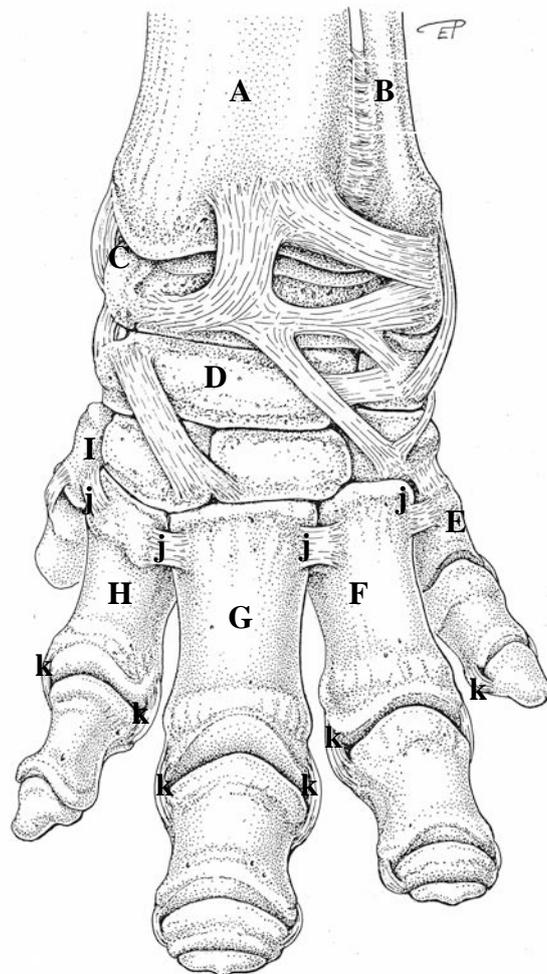
**Abb. 17: Articulatio centrodistalis, Gelenkkörper**

Ansicht von distal

A-D – Facies articularis metatarsae primi, secundi, tertii et quarti; E – Lig. plantare longum; F – Lig. plantare.

Dorsal ist das Stratum fibrosum der Gelenkscapseln großteils nur schwach verstärkt, wird jedoch von der über die Gelenke verlaufenden, mächtigen Streckmuskulatur bedeckt. Diese bildet an der dem Knochen zugewandten Seite eine starke Faszienplatte, welche die darunter liegenden Leitungsbahnen und Gelenke bedeckt.

Die **Gelenksbänder** verlaufen am Fußrücken hauptsächlich von proximal und medial schräg nach distal und lateral (Abb. 18), lassen aber eine breite Varianz in ihrer Anlage erkennen. Durch die starken Faszienstrukturen und die langen Bänder an der plantaren Seite des Fußes ist es nur sehr schwer möglich, dort einzelne Gelenksbänder zu differenzieren, sodass die auf Abb. 20 wiedergegebenen Verhältnisse nur eine Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse darstellen.



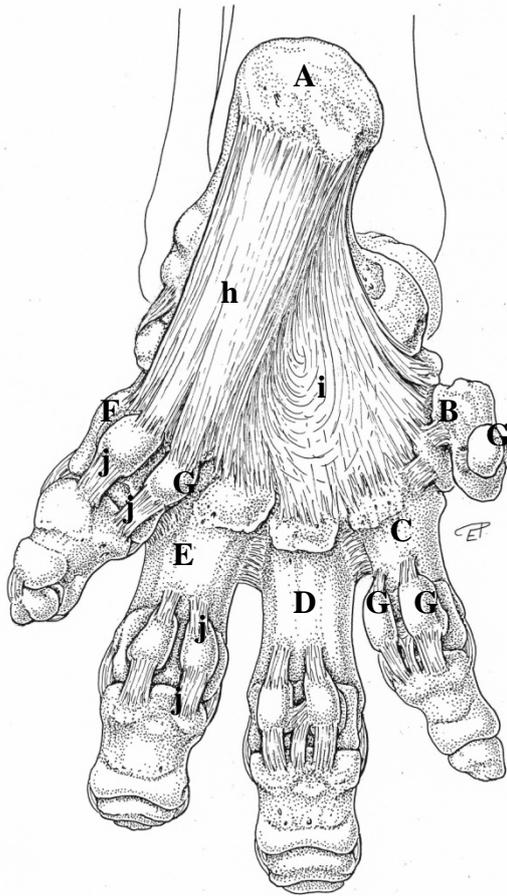
**Abb. 18: Pes, Bandapparat**

schematische Darstellung, Ansicht von dorsal

A – Tibia B – Fibula C – Talus

D – Os tarsi centrale E bis I – Ossa metatarsalia I bis V

j - Ligg. intermetatarsalia k – Ligg. collateralia



**Abb. 19: Pes, Bandapparat**

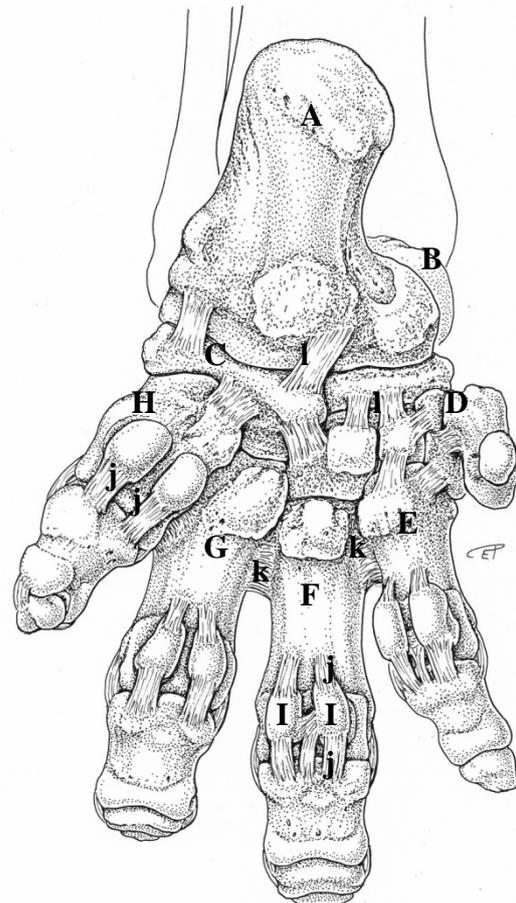
schematische Darstellung, Ansicht von plantar, oberflächliche Präparationslage

- A – Calcaneus
- B bis F – Ossa metatarsalia I bis V
- G – Ossa sesamoidea
- h – Lig. plantare longum
- i – Lig. plantare
- j – Ligg. sesamoidea

**Abb. 20: Pes, Bandapparat**

schematische Darstellung, Ansicht von plantar, tiefe Präparationslage

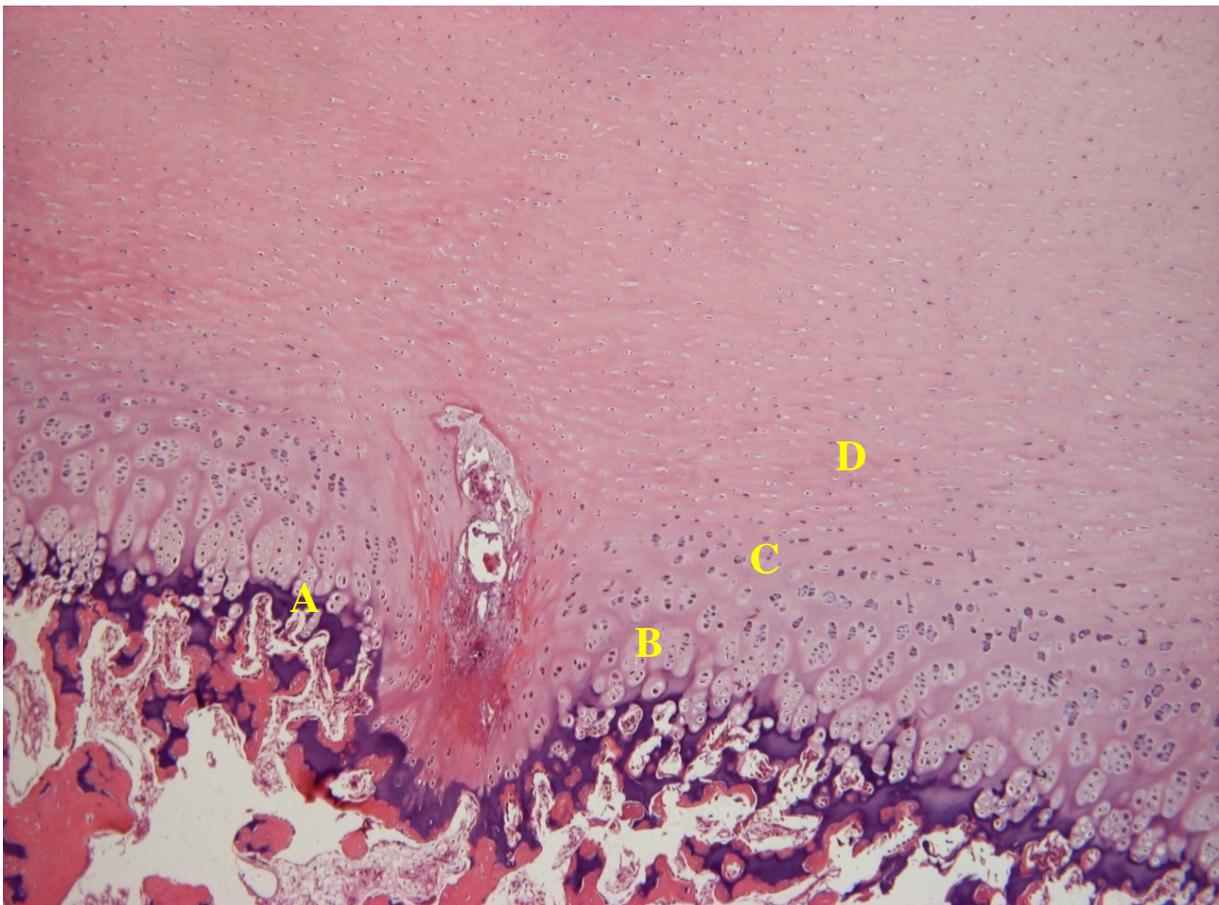
- A – Calcaneus
- B - Talus
- C – Os tarsi centrale
- D bis H – Ossa metatarsalia I bis V
- I – Ossa sesamoidea
- j – Ligg. sesamoidea
- k – Ligg. intermetatarsalia
- l - Ligg. Tarsi plantaria



#### 4.4.2 Mikroanatomie der Gelenksknorpel von juvenilen Tarsalknochen

Bei juvenilen Elefanten war der Gelenksknorpel der Tarsalknochen einer abgrenzbaren Knorpelschicht aufgelagert, welche die Außenwand der verknöchernden Epiphyse darstellte. Der Gelenksknorpel wurde durch keine Knochengewebsschicht vom Epiphysenknorpel getrennt.

Nach einem von Egger et al. (2006) verwendeten Schema zur Einteilung des Gelenksknorpel von Elefanten von dessen Oberfläche bis zum Knochen, konnte man tangentialen, transitionalen, radialen, ruhenden, proliferierenden, hypertrophierenden und verkalkenden Gelenksknorpel feststellen. Die ersten drei Zonen stellten den Gelenksknorpel dar, die letzteren die in Verknöcherung begriffene Epiphyse. Die einzelnen Zonen konnten entsprechend der Verteilung und Anordnung der Chondrozyten sowie durch Anfärbungseigenschaften der interzellulären Matrix unterschieden werden.



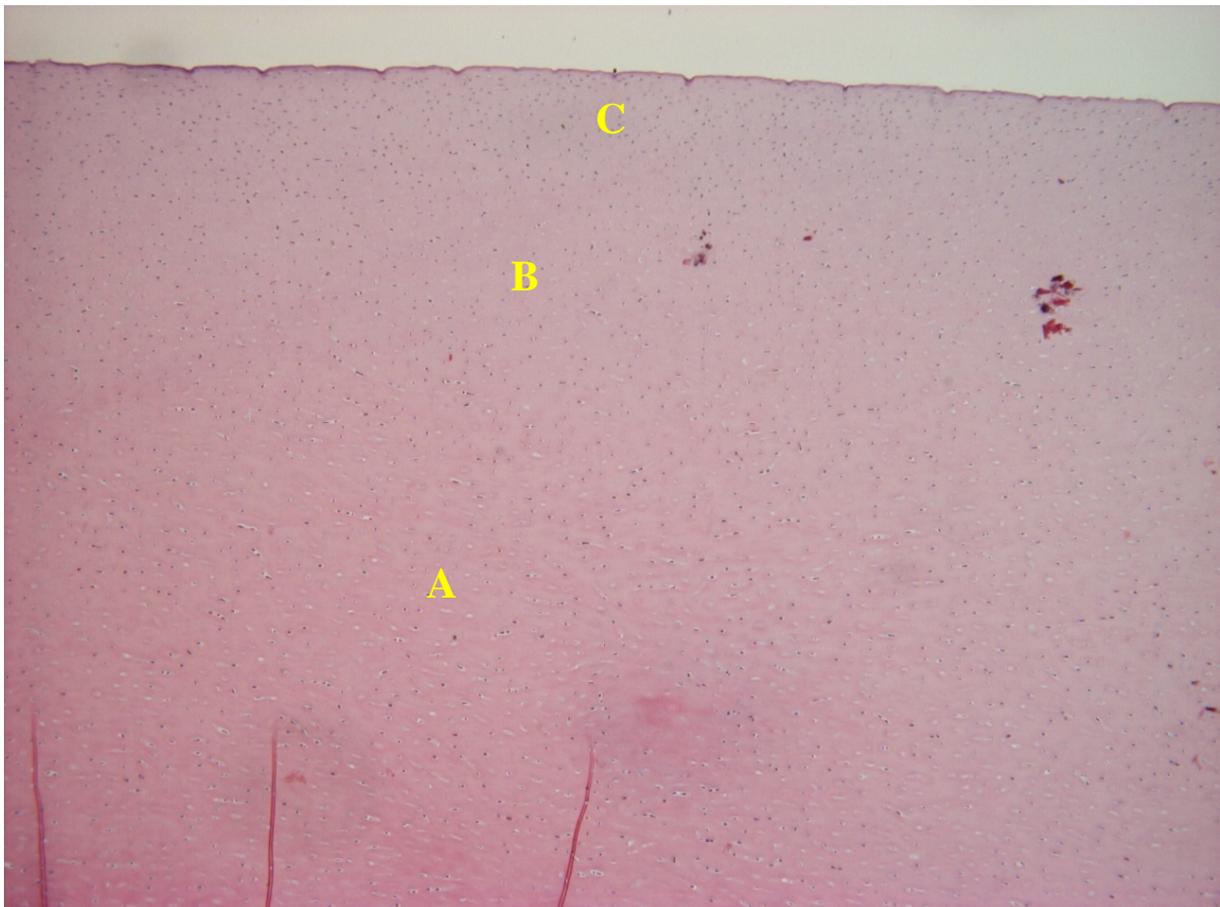
**Abb. 21: Articulatio talocruralis, Cartilago articularis tali**

HE Färbung, Übersichtsdarstellung

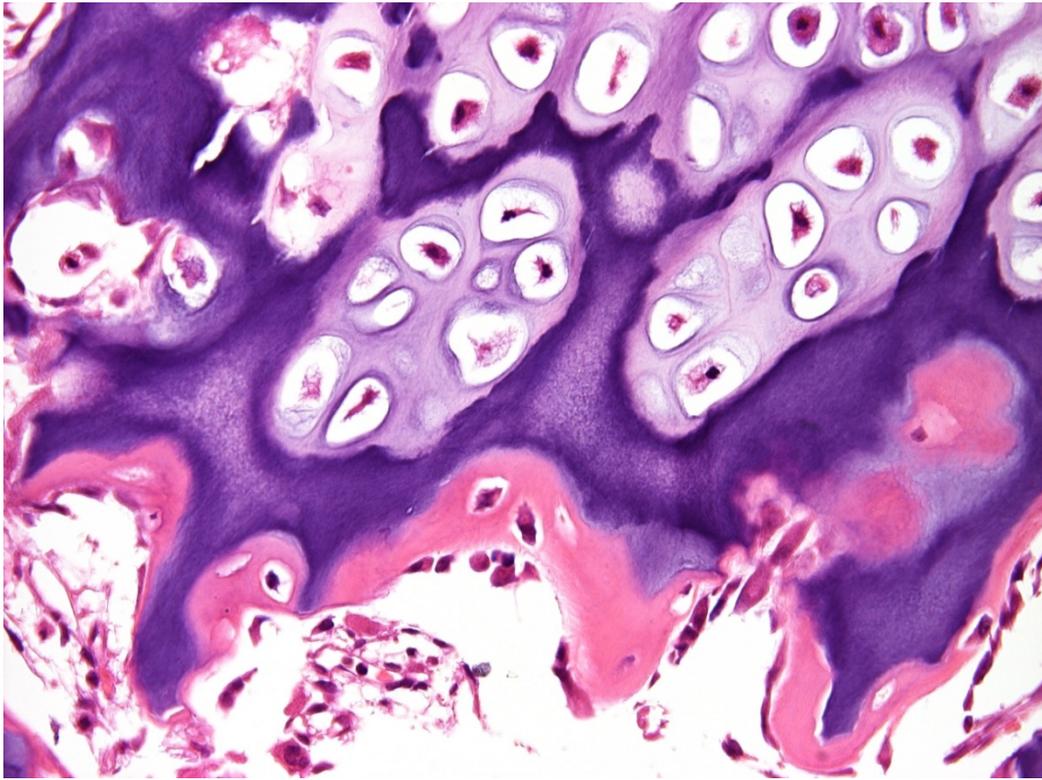
A-kalzifizierende Zone; B – hypertrophierende Zone; C – proliferierende Zone;  
D – ruhende und radiäre Zone

Die Form und Verteilung der Chondrocyten variierte zwischen den einzelnen Zonen. Die Chondrozyten der verknöchernden Zonen sind verhältnismäßig groß, rund und in “Clustern” von 3-10 Zellen angeordnet. In der hypertrophierenden Zone formen Gruppen von bis zu 15 großen, runden Chondrozyten unregelmäßige Zellreihen. Die kleineren Chondrozyten der proliferierenden Zone sind in radialen Reihen von bis zu 10 Zellen organisiert.

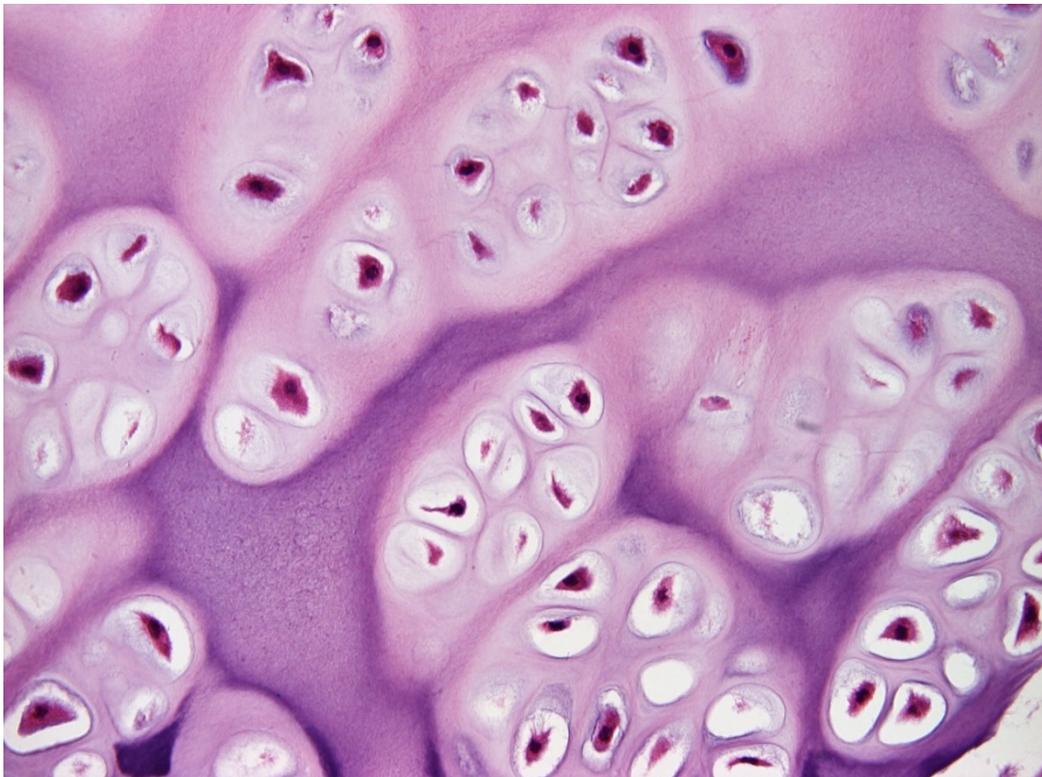
Sowohl in der ruhenden wie auch der radialen Zone sind einzelne, runde Chondrozyten einheitlich in der interzellulären Matrix verteilt. Die Zellgröße nimmt in Richtung der Knorpeloberfläche ab. In der transitionalen Knorpelzone kommen sowohl runde als auch fusiforme Chondrozytenprofile vor. Im oberflächlichen Teil der tangentialen Zone sind die spindelförmigen Chondrozyten mit deren Längsachsen parallel zur Gelenksoberfläche angeordnet.



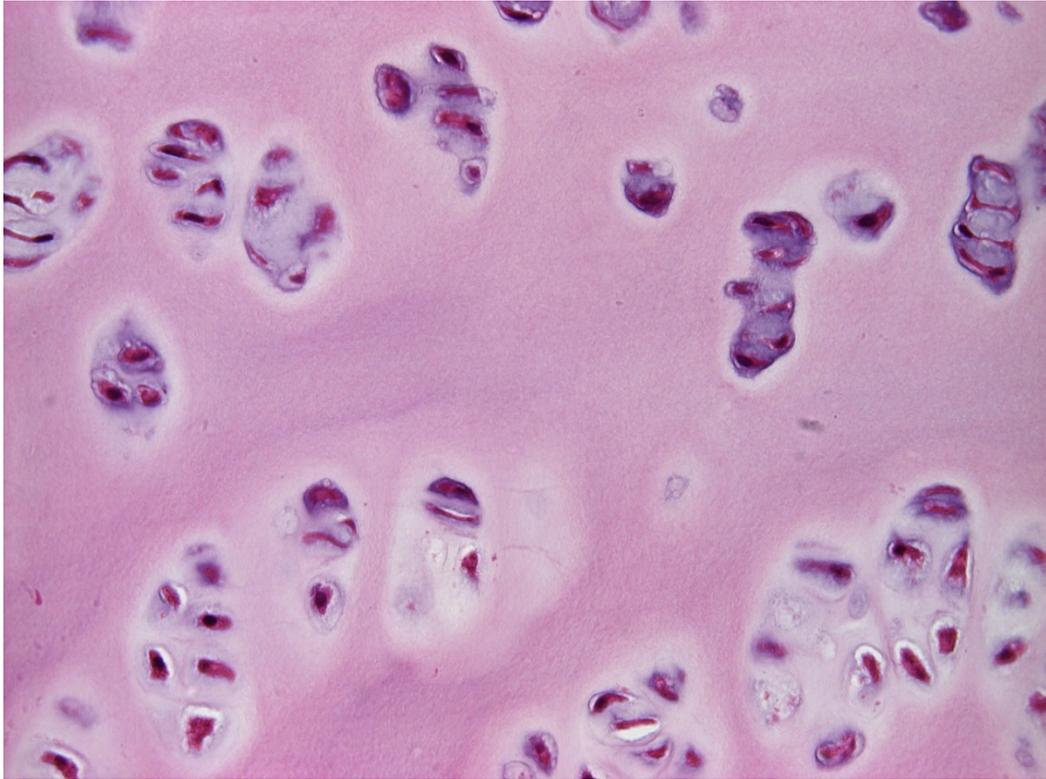
**Abb. 22: Articulatio talocruralis, Cartilago articularis tali**  
HE Färbung, Übersichtsdarstellung oberflächlich  
A-radiäre und ruhende Zone; B –transitionale Zone; C – tangentiale Zone



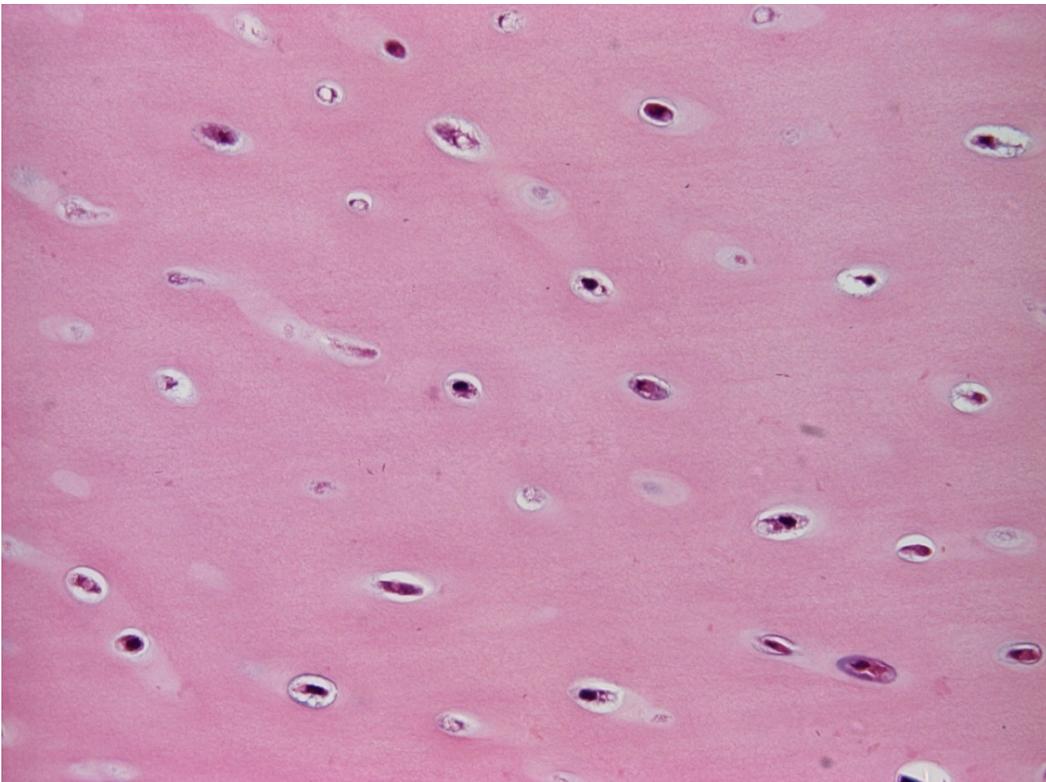
**Abb. 23: Articulatio talocruralis, Cartilago articularis tali**  
HE Färbung, Kalzifizierende Zone



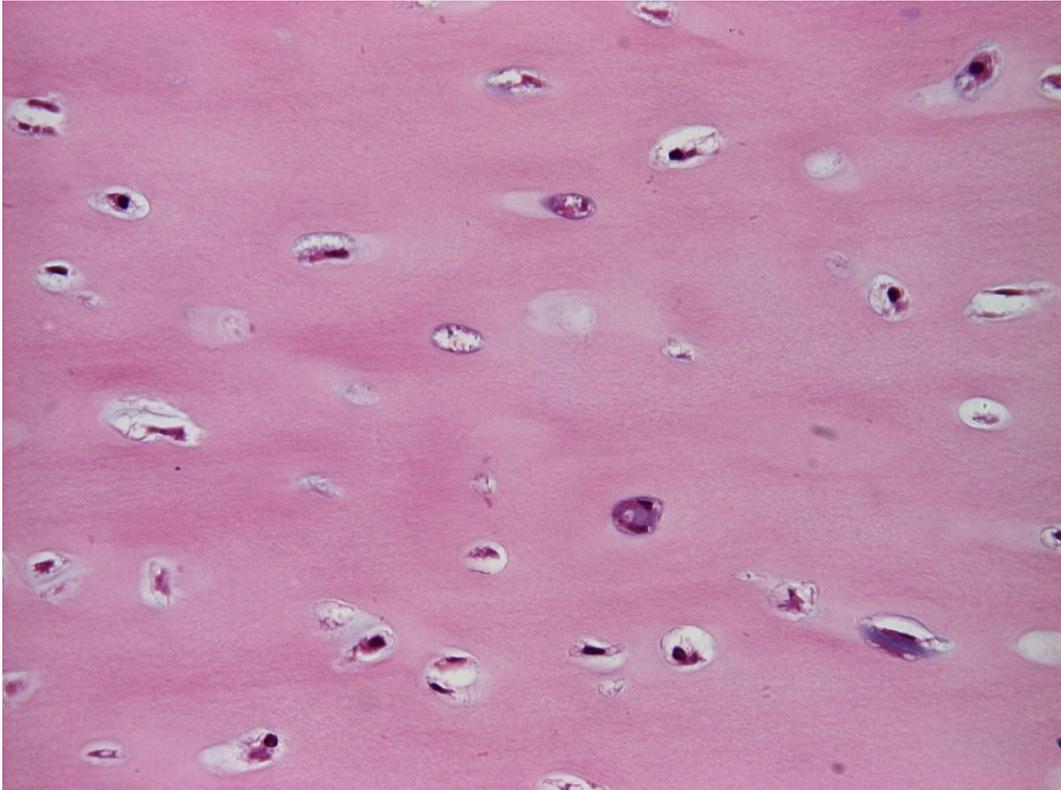
**Abb. 24: Articulatio talocruralis, Cartilago articularis tali**  
HE Färbung, hypertrophierende Zone



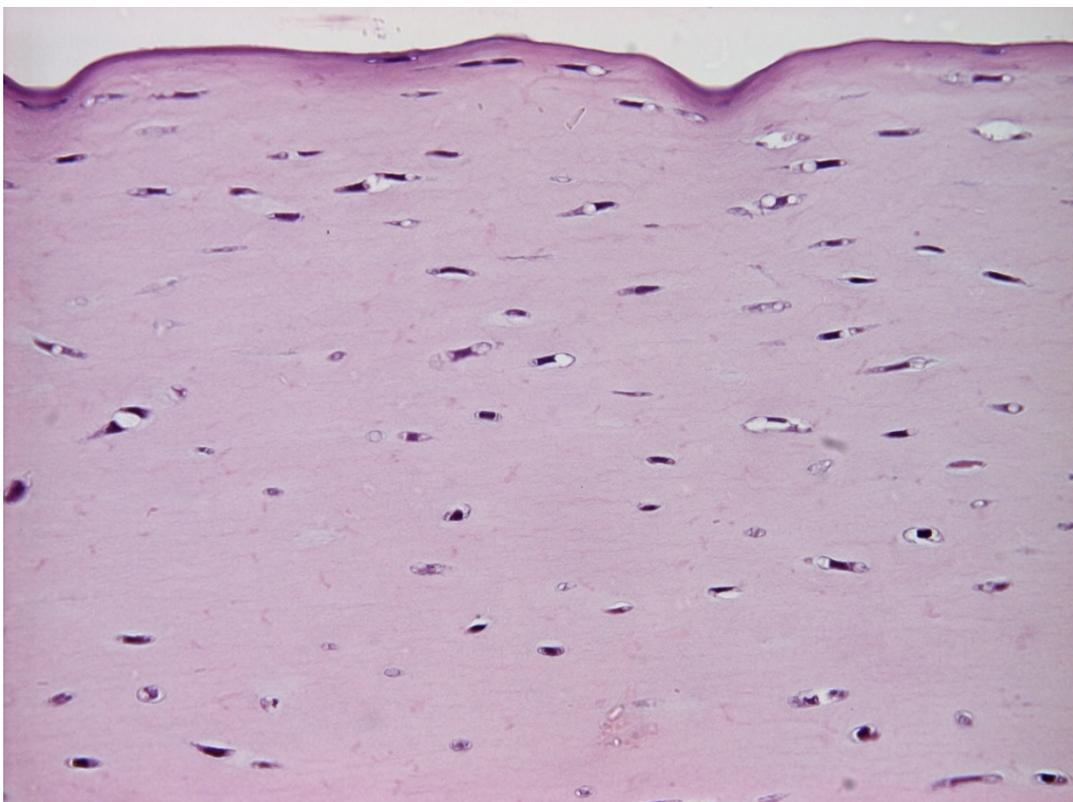
**Abb. 25: Articulatio talocruralis, Cartilago articularis tali**  
HE Färbung, proliferierende Zone



**Abb. 26: Articulatio talocruralis, Cartilago articularis tali**  
HE Färbung, radiäre Zone



**Abb. 27: Articulatio talocruralis, Cartilago articularis tali**  
HE Färbung, ruhende Zone



**Abb. 28: Articulatio talocruralis, Cartilago articularis tali**  
HE Färbung, tangenziale Zone

Die Interzelluläre Matrix zeigte außerdem ein interessantes Färbeverhalten. Der nicht verkalkte Bereich der tarsalen Gelenkknorpel des Elefanten zeigte ausgeprägt eosinophiles Anfärbeverhalten. Das Anfärbemuster der Matrix wich nur in der Verkalkungszone des Gelenkknorpels insofern ab, als sich die interterritoriale Matrix der Verkalkungszone basophil und ausgeprägt Safranin O – positiv anfärbte. In allen anderen Zonen färbte sich die amorphe Matrix einheitlich blass an. Bei einem pH-Wert von 4.0 wurde mit Alzian Blau ein positives Färbeergebnis erzielt, bei pH 2.5 zeigte nur die interterritoriale Matrix der Verkalkungszone ein positives Anfärbeverhalten.

Die Faserkomponenten des Kniegelenks des Elefanten waren in den meisten Zonen maskiert. Besondere Fasertypen konnten nur in Teilen der verknöchernden, hypertrophierenden und proliferierenden Zone gefunden werden.

Die tiefen Knorpelzonen wurden mit Gefäßkanälen versorgt. Das Knorpelgewebe war mit lockerem Bindegewebe gefüllt. Vom subchondralen Knochen her penetrierten Blutgefäße in das Knorpelgewebe.

#### **4.5 Verbindungen der Metatarsalknochen untereinander**

##### Artikulierende Anteile

Die Ossa metatarsalia sind recht straff und unbeweglich miteinander verbunden. Das dritte und vierte Os metatarsale artikulieren beidseitig, das zweite und fünfte nur axial, das erste Os metatarsale beteiligt sich durch seine vom Os tarsale primum verursachte, isolierte Stellung nach medial nicht an der Bildung der **Articulationes intermetatarsae**.

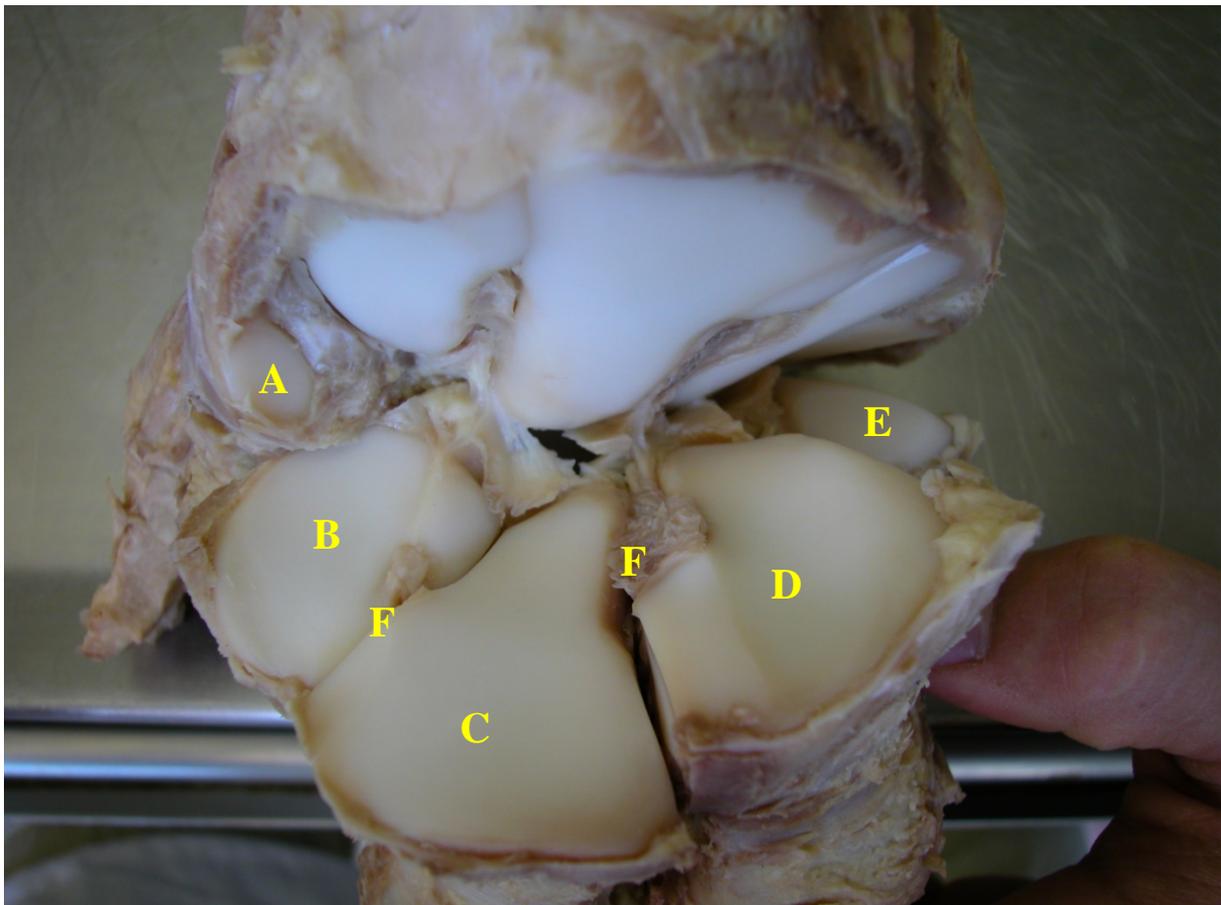
##### Gelenkskapsel, Bänder und Gelenkhöhlen

Die Articulationes intermetatarsae kommunizieren mit den Gelenkhöhlen der Artt. Tarsometatarsae. Durch die straffen, kurzen intermetatarsalen Bänder zwischen Mt II, Mt III, Mt IV und Mt V ergeben sich sehr enge Gelenksverhältnisse (Abb. 29).

- Zwischen Mt II und Mt III findet man ein interosseär liegendes Intermetatarsalband (Abb. 29 F) welches das Gelenk in ein dorsales und plantares Kompartement teilt. Dabei sind die

Gelenksflächen des Mt II leicht konvex und die des Mt III entsprechend konkav geformt. Die abaxiale, ovale Gelenksfläche steht mit dem Os tarsale primum in gelenkigem Kontakt.

- Zwischen Mt III und Mt IV ist das Lig. intermetatarsale interosseum stark ausgebildet und füllt die plantaren zwei Drittel des Gelenkspalts mit seiner Bandmasse (Abb. 29). Eine gemeinsame Gelenksfläche befindet sich lediglich im dorsalen Bereich, wobei die des Mt III leicht konvex und die des Mt IV konkav geformt ist. Bei einem senilen Individuum waren an den Gelenken zwischen Mt II und III sowie zwischen Mt III und IV deutliche Randlippen erkennbar, welche die verengten, aber durchwegs erhaltenen Gelenkspalte begrenzen.



**Abb. 29: Articulationes intermetatarsae**

Ansicht von proximal

A-E – Facies articulares tarseae der Ossa metatarsalia I - V; F – Lig. intermetatarsale interosseum.

Zwischen Mt IV und Mt V hingegen wird die mittig gelegene gemeinsame Artikulationsfläche dorsal und plantar von jeweils einem Intermetatarsalband begrenzt, wobei plantar die Knochenoberflächen im Bereich des plantaren Bandes stark divergieren.

Die Ligg. intermetatarsae geben in ihrem Verlauf neben ihrer transversalen Hauptfaserrichtung auch Faserzüge in das Lig. plantare longum und die in diesem Bereich verlaufenden kleineren plantaren Bänder ab.

Durch die straffen Bandmassen, welche dorsal und plantar durch die in diesem Bereich sehnig ansetzende Streck- und Beugemuskulatur und die darüber liegenden Fascienplatten gebildet werden, sind die Gelenkskapseln sehr eng und straff und lassen den Gelenken keine großen Bewegungsfreiheiten.

#### **4.6 Die Gelenke der Zehen**

Das Acropodium besteht aus fünf Zehen und einer plantar der ersten Zehe gelegenen sechsten „Zehe“, dem sogenannten Prähallux. Die Achse der ersten, zweiten und dritten Zehe zeigt dabei etwas nach medial, die der vierten und fünften etwas nach lateral. Die dritte und vierte Zehe können als Hauptzehen bezeichnet werden, da sie die einzigen sind, die drei Zehenglieder aufweisen und durch ihre Größe und Stärke das meiste Gewicht aufnehmen können.

Der Prähallux hingegen ist eine Knorpelbildung und steht über ein festes, dichtes Fasergerüst hauptsächlich mit dem Os tarsale I, aber auch mit dem Os metatarsale I und in geringerem Maße mit dem Os tarsi centrale, in Verbindung. Bei zwei der untersuchten juvenilen Elefanten konnte zwischen Prähallux und Os tarsale I eine synoviale Höhle gefunden werden, welche in das verbindende Fasergewebe eingebettet war.

Das Erscheinungsbild des Prähallux stellt sich in einer nach distal dicker werdenden und nach plantar gebogenen Form dar, deren distales Ende im Sinne einer verkehrten Y-Form gegabelt sein kann.

Der Prähallux ist in die starken medialen Faszienplatten des Fußballens vollständig eingebaut, und reicht mit seinem distalen Ende, medial der Fußachse, bis an die Sohle des Fußes.

#### **4.6.1 Die Gelenke der proximalen Reihe (Artt. metatarsophalangeae)**

##### Artikulierende Anteile

Der Afrikanische Elefant besitzt in der proximalen Gelenksreihe fünf Zehengrundgelenke. Diese werden von der jeweiligen walzenförmigen Fac. articularis distalis des Os metatarsale und der Gelenkgrube der Fac. articularis proximalis der Phalanx proximalis jedes Strahls, sowie, mit Ausnahme der ersten Zehe, jeweils zwei plantar eingelagerten, längsovalen Sesambeinen gebildet. Letztere sind vom zweiten bis zum fünften Strahl in Form und Größe unterschiedlich ausgeprägt. In allen Zehengrundgelenken besteht eine geringgradige, physiologisch überstreckte Gelenksstellung. Es handelt sich um Walzengelenke, welche nach Art eines Wechselgelenks funktionieren und in denen ausschließlich Beuge- und Streckbewegungen ausgeführt werden können.

Im Bereich der Sesambeine besitzen die Gelenkswalzen von Mt II bis VI einen plantaren Rollkamm, welcher den Sesambeinen als Gleitlager dient. Die Gelenksflächen von Metatarsus und Phalanx prox. sowie den Sesambeinen sind durchgehend von einer Knorpelschicht überzogen und gehen an ihren Rändern in die Synovialmembran der Kapsel über.

##### Gelenkskapsel, Gelenkshöhlen und Bänder

Die Gelenkskapsel jeder Art. metatarsophalangea umschließt eine weite, nicht mit anderen Synovialräumen kommunizierende Gelenkshöhle. Sie buchtet sich an der plantaren Seite, durch Faserzüge verstärkt, weit nach proximal sowie medial und lateral auch nach dorsal aus

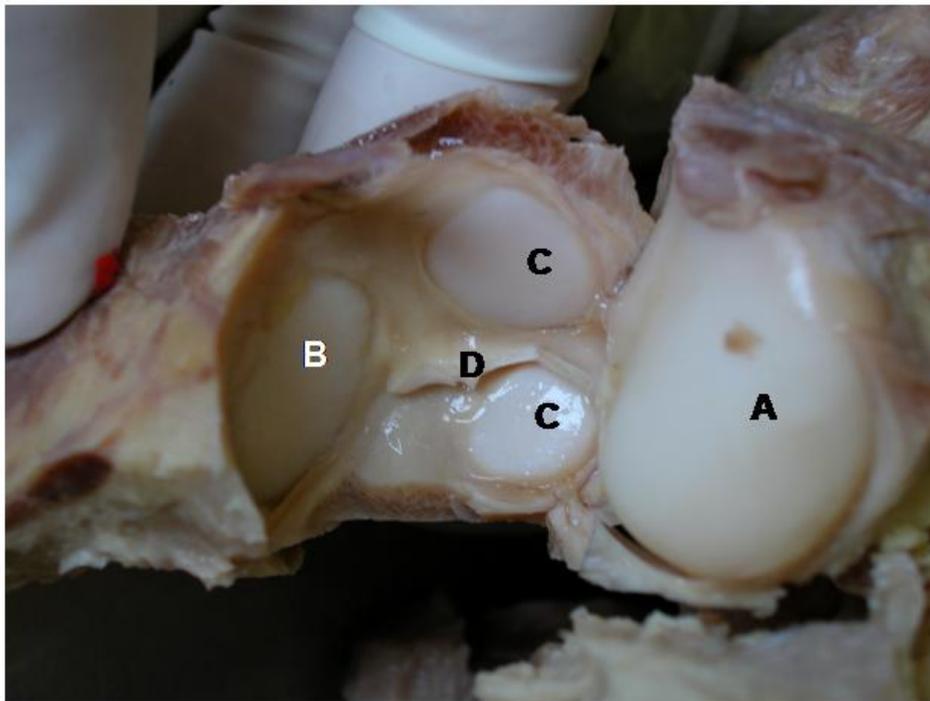
und schließt in ihr Stratum fibrosum von der zweiten bis fünften Zehe je zwei unterschiedlich große, ovale Sesambeine ein.

Dorsal ist die Gelenkscapsel dünnwandig, durch eine wenige mm starke Fettschicht von der darüber ziehenden und in der Umgebung ansetzenden Strecksehne getrennt, und bildet nur nach proximal einen deutlichen Recessus, der sich medial und lateral auch nach plantar ausdehnt. Medial und lateral kann man zu den von der plantaren Aponeurose einstrahlenden Faserzügen auch zwischen dem Os metatarsale und der Phalanx proximalis verkehrende **Ligg. collateralia medialis und lateralis** erkennen. In diesem Bereich ist die Gelenkscapsel durch Faserzüge verstärkt und reicht nicht sehr weit über den Gelenksrand hinaus.

An der ersten Zehe ragt eine zirkulär verlaufende synoviale Gelenkscapsel-falte in den Gelenksspalt, im zweiten bis fünften Zehengrundgelenk ist diese ebenso ausgebildet, jedoch findet man eine zusätzliche Synovialfalte zwischen den beiden Sesambeinen. Diese Struktur erstreckt sich im Sinne eines Vinculum synoviale nach dorsal an die Lateralfäche des plantaren Rollkammes, weist proximal wie distal freie Kanten auf und setzt an einem schmalen, sagittal gestellten knorpelfreien Areal der Trochlea metatarsi an (Abb. 30).

Die Sesambeine der zweiten bis vierten Zehe sind jeweils durch eigenständige, nach proximal und distal gerichtete Haltebänder mit den am Gelenk beteiligten Metatarsalknochen und den Phalanges proximales verbunden. Zusätzlich sind an der dritten und vierten Zehe im distalen Abschnitt des Spaltraumes zwischen den beiden Sesambeinen Ligg. palmaria angelegt, von denen ein drittes, zwischen dem medialen und lateralen verlaufendes distales Halteband entspringt.

An der fünften Zehe war es auf Grund der starken umgebenden Bandmassen des Lig. plantare longum nicht möglich, eigenständige Sesambeinbänder zu differenzieren, jedoch kann man von einer Verschmelzung dieser beiden Haltestrukturen ausgehen.



**Abb. 30: Articulatio metatarsophalangea;** aufgeklappte Darstellung, Ansicht von dorsal  
 A – Trochlea metatarsi III.; B - Facies articularis proximalis phalangis proximalis;  
 C – Ossa sesamoidea proximalia; D – Vinculum synoviale, von dorsal eingeschnitten.

#### 4.6.2 Die Gelenke der mittleren Reihe ( Art. interphalangea proximalis)

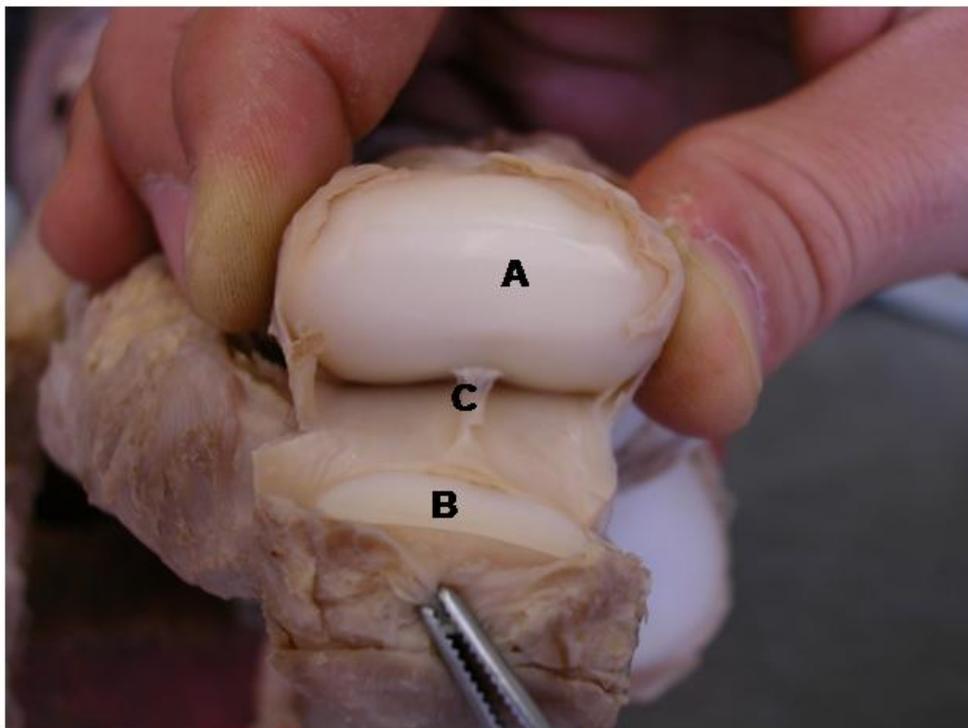
##### Artikulierende Anteile

An der zweiten bis fünften Zehe ist zwischen der Gelenkswalze der Phalanx proximalis und der Gelenkgrube der Phalanx medialis das Zehenmittelgelenk ausgebildet. Die Gelenksform entspricht der eines Sattelgelenks mit vorwiegender Beuge- und Streckbewegung.

## Gelenkskapsel, Bänder und Gelenkhöhle

Das Zehenmittelgelenk besitzt eine eigenständig ausgebildete, weite Gelenkskapsel. Diese wird sowohl dorsal und plantar, wie auch axial und abaxial durch die Endsehnen der ansetzenden Streck- und Beugemuskulatur verstärkt. Die Sehnen geben im Bereich über dem Gelenk Faserzüge in Richtung der Gelenkskapsel ab und verstärken so deren Stratum fibrosum vor allem seitlich sehr stark. Dorsal findet sich ein deutlicher, nach proximal gerichteter Recessus, welcher von einem kleinen Fettgewebspolster überdeckt und von den ansetzenden Sehnen abgesetzt wird. Der plantare Recessus ist größer als der dorsale und kann durch eine halbmondförmige, synoviale Falte in seiner Endausbuchtung in einen medialen und lateralen Raum unterteilt werden (Abb. 31).

Die Seitenbänder, Lig. collaterale medialis und lateralis, die zwischen den Bandgruben der Phalanx proximalis und den Bandhöckern der Phalanx media verkehren, konnten an allen vier Gelenken gefunden werden.



**Abb. 31: Articulatio interphalangea proximalis, aufgeklappte Darstellung, Ansicht von dorsal**  
A – Trochlea phalangis proximalis; B - Facies articularis proximalis phalangis mediae; C – Vinculum synoviale

In den Gelenkspalt ragt allseitig eine ringförmig geformte Synovialfalte vor, so dass die unmittelbar miteinander artikulierenden Gelenksknorpelflächen auf Ausschnitte von runder bis leicht ovaler Form begrenzt sind. Der Knorpelüberzug der beteiligten Knochenenden reicht jedoch bis an den Übergang zum Stratum synoviale der Gelenkkapsel.

#### **4.6.3 Die Gelenke der distalen Reihe (Artt. interphalangeae distales)**

##### Artikulierende Anteile

Die an der Bildung des Zehenendgelenks beteiligte Phalanx distalis ist beim Afrikanischen Elefanten an der Hintergliedmaße nur an der dritten und vierten Zehe in knöcherner Form angelegt. In Form eines Sattelgelenks artikulieren unmittelbar nur die Gelenkswalze der Phalanx media und die verhältnismäßig kleine Grube der Phalanx distalis der dritten Zehe, da die Gelenkhöhle der vierten Zehe durch eine Synovialhaut in zwei meistens eigenständige synoviale Gelenkräume geteilt ist. In beiden Gelenken findet eine vorherrschende Beuge- und Streckbewegung statt.

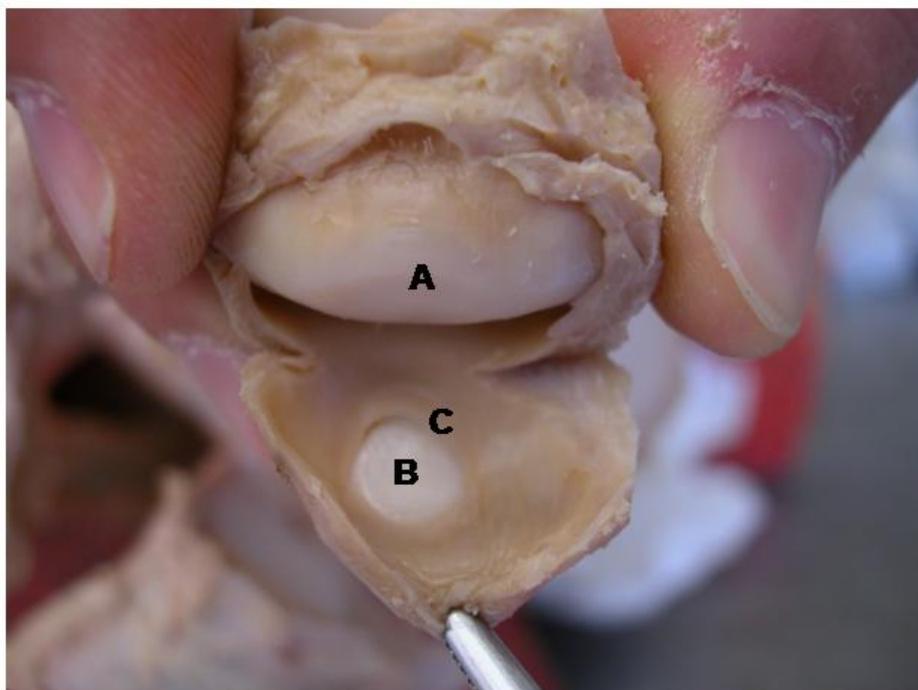
Distal der beiden angelegten Endphalangen, beim adulten Individuum jeweils in einem Abstand von etwa 1 cm, findet sich in das subungulare Bindegewebe eingebettet jeweils eine linsenförmige, nach proximal konkave, distal der Ungula cornea angelagerte knöcherner Bildung.

##### Gelenkkapsel, Bänder und Gelenkhöhle

Die Art. interphalangea distalis wird von einer selbstständigen Gelenkkapsel eingeschlossen, die im Gelenk der dritten Zehe eine kreisrunde Synovialfalte bildet (Abb. 32), in dem der

vierten Zehe jedoch von einer durchgehenden, nicht durch Faserzüge verstärkten synovialen Trennhaut in ein distales und proximales Kompartement geteilt wird (Abb.33). Verstärkt wird die Kapselfibrosa von den Sehnen der Beuge- und Streckmuskelansätze. Kollateralbänder konnten in keinem der Gelenke nachgewiesen werden.

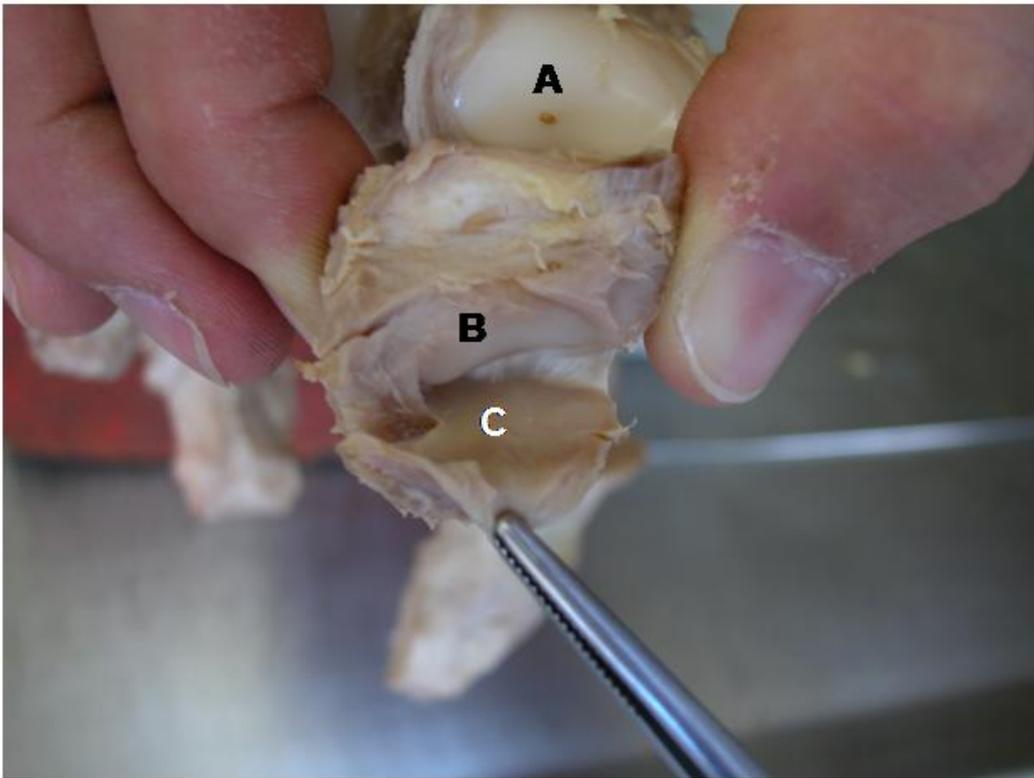
Zwischen der Endphalange und der distal von ihr nachgewiesenen knöchernen Struktur konnten keinerlei Bänder oder andere gelenksunterstützende Bildungen dargestellt werden.



**Abb. 32: Articulatio interphalangea distalis III**

Ansicht von dorsal,

A – Trochlea phalangis mediae; B - Facies articularis proximalis phalangis distalis; C – zirkuläre Synovialfalte



**Abb. 33: Articulatio interphalangea distalis IV**

Ansicht von dorsal

A – Trochlea phalangis proximalis; B - Trochlea phalangis mediae;

C – synoviale Trennhaut

**4.6.4 Mikroanatomie der knöchernen Struktur distal der Phalanx digitalis distalis III**

Der spongiöse Knochen in Form einer zur distalen Phalanx hin konkaven Linse mit einem Durchmesser von ca. 1cm beim adulten Tier ist von Faserknorpelgewebe umgeben. Dieses Knorpelgewebe geht in eine dünne Knochengewebsschicht mit kollagenen Fasern über, welche in einer unregelmäßigen Form Verbindungen eingehen. Im Zuge der Van Gieson Anfärbung wird sichtbar, dass die kollagenen Anteile des Faserknorpels in die Knochenmatrix eingebettet sind.

Es war kein Periostalgewebe nachweisbar. In der Umgebung des Knochen sind keine Chondrozyten zu erkennen, jedoch umrahmt ihn ein unklarer Rand von Safranin O positiver Matrix, was für eine sehr hohe Dichte von Proteoglykanen spricht welche man normalerweise in Knorpelgewebe findet. Die Chondrozyten sind in Reihen angeordnet, welche senkrecht zur Oberfläche des knöchernen Gewebes stehen oder unregelmäßig um klar sichtbare kollagene Fasern verteilt sind. Im Bereich der Peripherie wird der Faserknorpel kontinuierlich von dichtem Bindegewebe ersetzt, welches auch miteinander verwobene kollagene Fasern beinhaltet.

## 5. Diskussion

An allen untersuchten, durchwegs von juvenilen Tieren stammenden Hüftgelenken weist das Hüftgelenk in Übereinstimmung mit SMUTS und BEZUIDENHOUT (1994), aber im Gegensatz zu NAUCK (1938) eine tiefe, gut ausgebildete Incisura acetabuli auf. Diese setzt sich regelmäßig in eine annähernd tropfenförmige Fossa acetabuli fort, welche in lateraler Richtung von einer immer angelegten, aber unterschiedlich großen Fossa synovialis begleitet wird. Dieser Befund steht im Gegensatz zu den Angaben von SMUTS und BEZUIDENHOUT (1994), welche bei adulten Tieren eine unregelmäßig geformte Fossa acetabuli und manchmal eine nach „ventromedial“ abgehende Fossa synovialis beschreiben. Möglicherweise stehen die abweichenden Befunde hinsichtlich der Berandung der Pfannengrube mit den unterschiedlichen Altersstadien der untersuchten Tiergruppen in Zusammenhang. Inwiefern die gegensätzlichen Angaben zur Lage der Fossa synovialis den Rahmen der morphologischen Varianz übersteigen, kann derzeit nicht beurteilt werden. Die Auskleidung der Fossa acetabuli mit einem von Synovialgewebe umgebenen Fettkörper wurde bisher in der Literatur nicht erwähnt.

In Übereinstimmung mit SMUTS und BEZUIDENHOUT (1994) für den Afrikanischen und MARIAPPA (1955) für den Indischen Elefanten weist der Femurkopf annähernd perfekte Kugelgestalt auf. Die dreieckige Form der Fovea capitis femoris wird von SMUTS und BEZUIDENHOUT (1994) bestätigt, ihr Überzug durch Gelenksknorpel wird hier erstmals beschrieben. Für den von uns gemessenen Betrag des Corpus-Collum-Diaphysenwinkels von  $135^\circ$  konnten keine Referenzdaten in der Literatur gefunden werden.

Von den regelmäßig nachweisbaren Verstärkungszügen der Hüftgelenkskapsel findet nur ein cranialer, den M. articularis coxae unterlagernder Bandzug in der Literatur indirekte Erwähnung (EALES, 1928). In funktioneller Hinsicht entspricht dieses massive Unterstützungsband wohl dem Lig. iliofemorale (Bertinisches Band) des Menschen, das in aufrechter Stellung unter dauernder Spannung steht und so das Hüftgelenk passiv vor Überstreckung schützt. Im Gegensatz zur Bandmorphologie des Menschen, bei dem ein gemeinsamer Ursprung von der Spina iliaca anterior inf. in zwei nach medial und lateral divergierende Ansatzschkel übergeht, setzt beim Afrikanischen Elefanten ein gemeinsamer

massiver Bandzug cranial des Trochanter minor an, der sich aus zwei getrennten Ursprüngen vom Cranial- und Lateralrand des Acetabulum anbildet. Die spezifische Ausbildung des bei den meisten Quadrupeden wenig differenzierten Cranialabschnittes der Hüftgelenkscapsel zu einem massiven Lig. iliofemorale beim Menschen und beim Afrikanischen Elefanten ist als analoge morphologische Reaktion auf die außergewöhnlich stark gestreckte Hüftgelenksstellung beider Arten aufzufassen. Für die von uns festgestellte, von den Verstärkungszügen ausgeübte und messbare Streckhemmung liegen keine Referenzbefunde vor.

Das Ligamentum capitis femoris ist in Übereinstimmung mit NAUCK (1938) nicht nachweisbar, der zentrale Fettkörper in der Tiefe der Fossa acetabuli entspricht möglicherweise einem Rudiment dieses Bandes. Für den Indischen Elefanten erwähnt MARIAPPA (1955) das Femurkopfband nicht, CRELIN (1988) beschreibt jedoch bei einem Individuum ein kräftiges, zwischen der Fossa acetabuli und der nahe dem Gelenkkörperand des Femurs befindlichen Fovea capitis femoris verläuft. Da derzeit für den indischen Elefanten keine weiteren Angaben fassbar sind, kann nicht beurteilt werden, ob hier ein regelmäßig auftretender morphologischer Artunterschied besteht, oder ob auch beim Indischen Elefanten das Ligamentum capitis femoris fehlen kann.

Die von WEISSENGRUBER et al. (2006) am Kniegelenk erhobenen anatomischen Befunde decken sich zur Gänze mit den hier präsentierten Ergebnissen und lassen darauf schließen, dass nur geringe morphologische Varianz in der Kniegelenksmorphologie des Afrikanischen Elefanten besteht.

Deutliche Unterschiede sind aber gegenüber der Beschreibung des Kniescheibengelenkes des Indischen Elefanten (MARIAPPA, 1955) zu erkennen. Während beim Afrikanischen Elefanten das vom Apex patellae an die Tuberositas tibiae ziehende Lig. patellae von der davon völlig getrennten und ebenfalls an der Tuberositas tibiae, distal des geraden Kniescheibenbandes inserierenden Endsehne des M. rectus femoris überzogen wird, scheint beim Indischen Elefanten eine breite, nach distal konvergierende Sehnenplatte zu bestehen, die vor ihrem Ansatz an der Tuberositas tibiae sowohl das gerade Kniescheibenband als auch die nicht an der Patella anheftenden Endsehnen der Mm. vasti medialis und lateralis aufnimmt. Demgegenüber setzen beim Afrikanischen Elefanten die Mm. vasti medialis, intermedius und lateralis direkt an der Basis patellae an.

Ebenfalls im Gegensatz zu den beim Indischen Elefanten erhobenen Befunden (MARIAPPA, 1955) konnten an keinem der untersuchten Kniescheibengelenke Ligg. femoropatellaria festgestellt werden.

Während MARIAPPA (1955) das Fehlen beider Menisken beim Indischen Elefanten angibt, waren beim Afrikanischen Elefanten, wie von WEISSENGRUBER et al. (2006) beschrieben, an allen untersuchten Gelenken beide Menisken zu schmalen Bändern reduziert, deren Morphologie in starkem Gegensatz zu den Verhältnissen bei den meisten quadrupeden, kursorischen Säugetieren steht (NICKEL et al., 2001; ZIMMERMANN, 1933). Auch die Menisken des Menschen weichen nicht wesentlich von der üblichen Grundform starker, mandarinenspaltenartig geformter Ausgleichkörper zwischen den inkongruenten Gelenkflächen des Femurs und der Tibia ab (TILLMANN, 2003). Eine mögliche Interpretation für die außergewöhnliche, bei kursorischen Quadrupeden einzigartige Ausbildung des Kniekehlgelenkes kann die evolutionäre Reaktion auf die ganz durchgestreckte Normalstellung des Kniegelenkes der Elefantenartigen sein, die sich wohl spätestens seit dem mittleren Tertiär manifestierte. Auch das hohe Maß an Kongruenz der beteiligten Gelenkkörper sowie die ebenfalls vom Gros der quadrupeden Säugetierarten abweichende Kreuzbandmorphologie kann vor dem selben evolutionären Hintergrund diskutiert werden. Demgegenüber ist die durchgestreckte Normalstellung des Kniegelenkes beim Menschen erst seit dem Pleistozän nachweisbar, sodass die Zeitspanne für eine evolutionäre Reaktion der für die Funktion des Kniegelenkes relevanten Strukturen möglicherweise noch zu kurz war.

Für die gelenkigen Verbindungen zwischen Tibia und Fibula stehen keine Referenzbefunde von den beiden Elefantengattungen zur Verfügung. Wie bei den Fleischfressern, Equiden, Suiden (NICKEL et al., 2001) und beim Menschen (TILLMANN, 2003) liegen sowohl an der *Articulatio tibiofibularis proximalis* als auch an der *Articulatio tibiofibularis distalis* straffe, aber regelmäßig synovial angelegte Gelenke vor, deren Gelenkhöhlen mit denen der jeweils benachbarten Hauptgelenke der Hinterextremität kommunizieren.

Während MARIAPPA (1955) für den Indischen Elefanten nur das „tibio-tarsale“ Gelenk als beweglichen *Ginglymus* beschreibt, bilden beim Afrikanischen Elefanten sowohl die Art.

talocruralis als auch die Art. talocentralis gut bewegliche Gelenke, deren Kapselhöhlen dorsal jeweils geräumige Recessus aufweisen.

Die Art. talocentralis weist auf Grund der rundlich konvexen distalen Gelenkkörperbildung des Talus am ehesten Ähnlichkeit zum Talonavikulargelenk des Menschen (TILLMANN, 2003) auf, nicht aber zu den homologen Ausbildungen bei den quadrupeden Haussäugetieren (NICKEL et al., 2001).

Alle weiteren Gelenke des Tarsus sind wie bei den Haussäugetieren und beim Menschen als straffe, kaum bewegliche Knochenverbindungen angelegt. (NICKEL et al., 2001; TILLMANN, 2003).

## 6. Zusammenfassung

Die makroskopische und mikroskopische Morphologie der Gelenke der Hinterextremitäten des Afrikanischen Elefanten wurden an den konservierten Kadavern von fünf juvenilen Individuen studiert, die im Zuge einer Herdenkeulung im Krugerpark getötet worden waren und am Department für Anatomie und Physiologie der Veterinärfakultät Onderstepoort der Universität Pretoria (Südafrika) zur Verfügung standen. Zusätzlich konnten diese Strukturen auch an einer 46-jährigen Elefantenkuh, die im Tiergarten Schönbrunn verstorben war, untersucht werden. Die Sektion der Gelenke erfolgte entsprechend der makroskopisch anatomischen Untersuchungsmethodik, darüber hinaus wurden Proben von funktionell relevant erscheinenden Strukturen zur mikromorphologischen Untersuchung entnommen. Die histologische Analyse erfolgte am Institut für Anatomie, Histologie und Embryologie der Veterinärmedizinischen Universität Wien.

Am Hüftgelenk konnte ein sehr stark entwickelter *M. articularis coxae* nachgewiesen werden, der mit großer Wahrscheinlichkeit in Analogie zu den Verhältnissen am menschlichen Hüftgelenk als Schutz gegen eine Überstreckung von mehr als  $42^\circ$  gegenüber der Normalstellung interpretiert werden kann. Der *Corpus-Collum-Diaphysenwinkel* beträgt etwa  $135^\circ$ .

Am Kniegelenk erscheint das *Lig. patellae* vollständig isoliert von der darüber ziehenden Endsehne des *M. quadriceps femoris*, keine *Ligg. femoropatellaria* waren nachweisbar. Der Gelenkspalt des Femorotibialgelenkes wird medial und lateral von sehr schmalen Menisken begleitet. Die Normalstellung des Kniegelenkes beträgt in Analogie zum menschlichen Kniegelenk etwa  $180^\circ$ .

Die *Artt. tibiofibulares proximalis* und *distalis* weisen sehr enge Synovialhöhlen auf.

Die *Artt. talocruralis* und *talocentralis* besitzen entsprechend ihrer guten Beweglichkeit dorsal und plantar weitlumige Recessus. Die distalen *Artt. intertarsaliae* und *tarsometatarseeae* sind durchwegs durch geringe Beweglichkeit und enge Synovialräume gekennzeichnet und werden dorsal und plantar von massiven Faszien- und Bandschichten bedeckt.

An den *Artt. metatarsophalangeae II – V* sind jeweils zwei *Ossa sesamoidea proximalia* angelegt, am erste Zehengrundgelenk findet sich nur ein Sesambein.

Die erste Zehe hat nur eine *Phalanx proximalis* als knöchernen Grundlage, an der zweiten und fünften finden sich *Phalanx proximalis* und *media*, die beiden Hauptzehen (III und IV) weisen drei Phalangen auf.

Neben den fünf Zehen ist am Autopodium des Elefanten noch eine „sechste“ Zehe, der *Praehallux*, angelegt. Diese stabförmige knorpelige Struktur erstreckt sich von der Plantarseite der ersten Zehe in medioplantarer Richtung in das Stützgewebe des Sohlenballens.

## 7. Summary

Examining the macroscopic and microscopic morphology of the hind limb joints of the African elephant, the corpses of 5 juvenile african elephants were used that had been shot during a heard culling program in the Kruger National Park (South Africa). Dissection has been carried out at the Department of Anatomy and Physiology of the Veterinary Faculty Onderstepoort / Pretoria (South Africa). Additionally, the joints of a 46-year old female elephant (“Jumbo”), witch died in the Zoo of Schoenbrunn underwent morphological investigation. Dissection was accomplished by means of macro-anatomical methods, samples of promising structures of joints and soft tissue were collected in order to achieve micro-morphological evidence . Histological analysis took place at the Institute of Anatomy, Histology and Embryology of the Veterinary University of Vienna (Austria).

In the elephants hip joint a very prominent and well formed *Musculus articulais coxae* was evident, similar to the human hip joint witch protects the joint of exceeding an overextension of more than  $42^\circ$ . No *Lig. capitis femoris* or *Lig. accessorium capitis femoris* was discernible in any specimen. The angle of the corpus and the collum of the femur is  $135^\circ$ , appr.

In the knee joint the *Lig. patellae* is completely separated from the superimposed inserting tendon of the *M. rectus femoris*, no *Ligg. femoropatellaria* have been found. Between femur and tibia two narrow meniscs are lining the margins of the articulating femoral and tibial condyles. The angle of the femoro-tibial joint is  $180^\circ$ , appr.

The proximal and distal junctions of the tibia and the fibula prove a very tight synovial joint space.

The talocrural- and talocentral joints of the foot show huge dorsal recessus, due to their wide mobility. The distal joints of the tarsus show tight articular spaces and are covered with massive fascial and ligamentous layers on their dorsal and plantar sides.

The artt. metatarsophalangeae II – V showed two *ossa sesamoidea proximalia*, at the fetlock joint of the first digit only one sesamoid bone was discernible.

While the first digit shows only a *phalanx proximalis*, digits two and five consist of two phalanges and digit three and four of phalanges *proximalis*, *media* and *distalis*.

Additionally, the foot of the African elephant is featured with a “sixth digit”, the *Prähallux*. This digit-like structure is situated plantar of the first digit and runs medio-plantar into the supporting tissue of the cushion.

## 8. Literaturverzeichnis:

BUSS, I. O. (1990): Elephant Life – Fifteen Years of High Population Density. Iowa State University Press, Ames.

CRELIN, E.S. (1988): Ligament of the Head of the Femur in the Orangutan and Indian Elephant. The Yale Journal of Biology and Medicine. **61**, 383-388

DEBRUYNE, R. (2005): Advance in the phylogeography of African elephants. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Mammalogical Congress (IMC 9), July 31-August 5, 2005, Sapporo, Japan, p.27.

EALES, N. B. (1928): Anatomy of the foetal African elephant, *Elephas africanus* (*Loxodonta africana*) Part II, The body muscles. Trans. Roy. Soc. Edin. **55**, 609-642.

EALES, N. B. (1929): Anatomy of the foetal African elephant, *Elephas africanus* (*Loxodonta africana*), Part III, The contents of the thorax and abdomen, and the skeleton. Trans. Roy. Soc. Edin. **56**, 203-246.

EGGER G.F., WITTER K, FORSTENPOINTNER G, WEISSENGRUBER G.2006.  
Articular cartilage in the knee joint of the African elephant, *Loxodonta africana*, Blumenbach 1797. J Morphol

FORSTENPOINTNER, G., WEISSENGRUBER, G., KÜBBER-HEISS, A., HITTMAYER, K., KONAR, M. (2001): Morphological features of the stifle joint of the African elephant (*Loxodonta africana*, Blumenbach 1797). J. Morph. **248**, 230.

HITTMAIR, K.M., VIELGRADER, H. D. (2000): Radiographic diagnosis of lameness in African elephants (*Loxodonta africana*). *Vet. Radiol. Ultrasound* **41**, 511-515.

HITTMAIR, K.M., VIELGRADER, H. D., KONAR, M., WEISSENGRUBER, G., FORSTENPOINTNER, G., (2001): Diagnostic imaging of the limbs of African elephants (*Loxodonta africana*), *Vet Radiol. Ultrasound* **42**, 175.

HUTCHINSON, J.R., MILLER, C., FRITSCH, G., HILDEBRAND, T. (2008):  
The Anatomical Foundation for Multidisciplinary Studies of Animal Limb Function: Examples from Dinosaur and Elephant Limb Imaging Studies. In: ENDO, H., FREY R. (Hrsg.): *Anatomical Imaging Techniques: Towards a New Morphology*. Springer-Verlag, Berlin, 23-38.

LIEBICH, H.-G. (2004): *Funktionelle Histologie der Haussäugetiere*. 4. Aufl. , Schattauer, Stuttgart.

LIEBICH, H.-G., KÖNIG, H. E., MAIERL, J. (2005): Hinter- oder Beckengliedmaßen (Membra pelvina). In: KÖNIG, H.-E., LIEBICH, H.-G. (Hrsg.): *Anatomie der Haussäugetiere*. 3. Aufl., Schattauer, Stuttgart, S. 211-274.

LILLIE, R.D. (1954): *Histopathologic technic and practical histochemistry*. Blakiston Division, McGraw- Hill Book Company. New York, . Toronto, London:

MARIAPPA, D. (1986): *Anatomy and Histology of the Indian Elephant*. Indira Pub. House, Oak Park.

MILLER, C.E, BASU, C., FRITSCH, G., HILDEBRAND, T., Hutchinson, J.R. (2008):  
Ontogenetic scaling of foot musculoskeletal anatomy in elephants,  
*J.R.Soc. Interface* (2008) **5**, 465-475

- NAUCK, E. TH. (1938): Extremitätenskelett der Tetrapoden. In: BOLK, L., GÖPPERT, E., KALLIUS, E., LUBOSCH, W. (Hrsg.) Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere. Bd. 5, Urban und Schwarzenberg, Berlin und Wien, S. 71-248.
- NAV (1994): Nomina Anatomica Veterinaria. 4th Ed., World Ass. Vet. Anat., Zürich.
- NEVILLE, H. (1935): Sur quelques caractères anatomiques du pied des éléphants. Archives du Musèum National d`Histoire Naturelle 6, 111-183.
- NICKEL, R., SCHUMMER, A., WILLE, K.-H., WILKENS, H. (2001): Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem. In: NICKEL, R., SCHUMMER, A., SEIFERLE, E., (Hrsg.): Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere. Bd. 1: Bewegungsapparat. 6. Aufl., Parey, Hamburg, S. 15-272.
- REICHENBACH, H.G.L. (1845): Anatomie der Säugthiere. Erster Theil. Wallthiere und Dickhäuter. Fried. Hofmeister, Leipzig.
- ROMEIS, B. 1989. Mikroskopische Technik. Urban & Schwarzenberg, München.
- RUTHE, H. (1962): Fußleiden der Elefanten. Wiss. Z. Humbolt-Univ. berlin, Math.-Naturwiss. Reihe **10**, 471-516.
- SCHALLER, O. (1992): Illustrated Veterinary Anatomical Nomenclature. Enke, Stuttgart.
- SCHWERDA, D. (2003): Analyse kinematischer Parameter der Lokomotion von *Loxodonta africana* (Proboscidea: Elephantidae). Diplomarbeit, Institut für spezielle Zoologie und Evolutionsbiologie mit Phyletischem Museum der Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- SMUTS, M. M., BEZUIDEHOUT, A. J. (1994): Osteology of the pelvic limb of the African elephant (*Loxodonta africana*). Onderstepoort J. Vet. Res. **61**, 51-66
- SPINAGE, C. (1994): Elephants. Poyser LTD., London

TERMINOLOGIA ANATOMICA (1998): Thieme, Stuttgart

TILLMANN, B. (2003): Untere Extremität. IN: TILLMANN, B. (Hrsg.): Pauber-Kopsch.

Anatomie des Menschen. Lehrbuch und Atlas. Bd. 1,3. Aufl., Thieme, Stuttgart, new York, S. 445-652.

WEBER, M., ABEL, O. (1928): Einführung in die Anatomie und Systematic der recenten und fossilen Mammalia. Bd. 1, Systematischer Teil , 2. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena.

WEISSENGRUBER, G. E., FORSTENPOINTNER, G. (2004): Musculature of the crus and pes of the African elephant (*Loxodonta africana*): Insight into semiplantigrade limb architecture. *Anat. Embryol.* **208**, 451-461.

WEISSENGRUBER, G. E., EGGER, G., STANEK, G., FORSTENPOINTNER, G., JANACH, K. (2005): Something different: the articulation of African elephants (*Loxodonta africana*). *Anat. Histol. Embryol.* **43**, 56

WEISSENGRUBER, G. E., FUSS, F. K., EGGER, G., STANEK, G., HITTMAIR, K.M., FORSTENPOINTNER, G. (2006): The elephant knee joint: morphological and biomechanical considerations. *J. Anat.* In press.

WHEELER HAINES, R. (1941): The tetrapod knee joint. *J. Anat.* **76**, 270-300.

ZIMMERMANN, A. (1933): Zur vergleichenden Anatomie des Kniegelenks. *Gegenb. Morph. Jahrb.* **71**, 589-596.